

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



**ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ
ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ**

Διπλωματική Εργασία

ΤΟΥ

Νταμάρης Φώτιος του Κωνσταντίνου

Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2018

ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΠΡΑΣΙΩΝ ΜΕ ΓΕΝΕΤΙΚΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ

Νταμάρης Φώτιος του Κωνσταντίνου

Πτυχίο Εφαρμοσμένης Πληροφορικής (Κατεύθυνση Διοίκηση Τεχνολογίας)
ΠΑΜΑΚ, 2015

Διπλωματική Εργασία

υποβαλλόμενη για τη μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ρεφανίδης Ιωάννης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 5/11/2018

Ρεφανίδης Ιωάννης

Σαμαράς Νικόλαος

Χρήστου Δημήτριος

.....

.....

.....

Νταμάρης Φώτιος

.....

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα τις **Συνδυαστικές Δημοπρασίες(Combinatorial Auctions)**, την ανάλυση ορισμένων λειτουργιών και εφαρμογών τους και την λύση ενός προβλήματος σε μορφή Combinatorial Auctions με την βοήθεια της Python και των Γενετικών Αλγορίθμων.

Αναλυτικά αντικείμενο της εργασία αποτελεί η μελέτη των συνδυαστικών δημοπρασιών. Σε πρώτη φάση στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια εισαγωγή στις Συνδυαστικές Δημοπρασίες και στο τι αναμένεται να υλοποιηθεί μέσα στην εργασία. Έτσι, ξεκινάμε με μια εισαγωγή στη βασική θεωρία δημοπρασιών, τις αύξουσες και φθίνουσες δημοπρασίες, τις Δημοπρασίες Πρώτης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς, τις Ταυτόχρονες Αύξουσες δημοπρασίες, καθώς και στις συνδυαστικές δημοπρασίες γενικότερα έτσι ώστε να εισάγουμε τον αναγνώστη στις έννοιες οι οποίες θα μελετηθούν.

Ακολουθεί η ανάλυση του μηχανισμού **Vickrey-Clark-Groves(VCG)** ο οποίος αποτελεί τον πιο διάσημο μηχανισμό που διαχειρίζεται προβλήματα επίλυσης συνδυαστικών δημοπρασιών.

Στην συνέχεια αναλύονται οι **Επαναληπτικές Συνδυαστικές Δημοπρασίες** και γίνεται μια νύξη στις **γλώσσες περιγραφής προσφορών** καθώς και στην ισορροπία **ex-Post**.

Τέλος αφού γίνεται μια μικρή αναφορά σε διάφορα πεδία εφαρμογής των **συνδυαστικών δημοπρασιών** γίνεται η ανάλυση της μελέτης περίπτωσης των **συνδυαστικών δημοπρασιών** στα δρομολόγια των λεωφορείων του Λονδίνου.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στους Γενετικούς Αλγορίθμους και την λειτουργία τους, καθώς θα είναι αυτοί που θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να λύσουμε το πρόβλημα που έχει σχεδιαστεί.

Στο **1^ο μέρος** του **Κεφαλαίου 3** έχουμε την **Σχεδίαση και Υλοποίηση του Γενετικού Αλγορίθμου**. Ξεκινάμε με μια εισαγωγή στην **Python**, τις διάφορες βιβλιοθήκες που αυτή έχει και το περιβάλλον προγραμματισμού της. Αναφέρεται επίσης το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία (**Spyder**) και παρουσιάζεται.

Στο **2^ο μέρος** του **Κεφαλαίου 3** γίνεται η ανάπτυξη του αλγορίθμου. Μετά την παρουσίαση του προβλήματος και των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν, παρουσιάζονται όλες οι λειτουργίες για την υλοποίηση του αλγορίθμου, ξεκινώντας από τη διαδικασία **κωδικοποίησης των χρωμοσωμάτων** (και επιλογής της **δεκαδικής κωδικοποίησης**) και καταλήγοντας στην εφαρμογή του αλγορίθμου καθώς και στα αποτελέσματα ενός 2^{ου} πιο σύνθετου προβλήματος το οποίο υλοποιήθηκε.

Στο τέλος υπάρχουν τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε από την εργασία την οποία υλοποιήσαμε, το παράρτημα με το πρόγραμμα το οποίο υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας καθώς και μερικές ενδεχόμενες μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας έρευνας.

Λέξεις Κλειδιά:

Δημοπρασίες, Συνδυαστικές Δημοπρασίες, Γενετικοί Αλγόριθμοι.

Abstract

This MSc thesis has as its main theme of discussion the Combinatorial Auctions (CA). More specifically, it examines the basic functions and applications of CA's, as well as the solution of a problem in CA format. The problem has been solved with the aid of Python and Genetic Algorithms.

First of all, the main subject of the paper is the examination of Combinatorial Auctions. Starting from **Chapter 1**, a brief introduction is being made on CA's, as well as what we expect to accomplish through the end of the given paper. Firstly, we begin with an introduction on basic auction theory. After that we analyze ascending and descending auctions, first-price sealed bids, Simultaneous Ascending Auctions (SAA) and CA's in general, with the intention to introduce the reader to the terms that are going to be discussed.

Moreover, we study the **Vickrey-Clark-Groves(VCG) mechanism** which is the most famous mechanism for solving Combinatorial Auctions problems.

Moving forward, after analyzing the **Iterative Combinatorial Auctions** we make a brief report on **Bidding Languages** and **Ex-Post Equilibrium**.

In the end, after making a brief report on various application fields of the CA's we analyze the case study of the CA's applied in the routes of London buses.

On **Chapter 2** we introduce the reader to **Genetic Algorithms** and their basic functions, since they are going to be used in solving the designed problem.

On the **1st part of Chapter 3** we present the **design and implementation of the Genetic Algorithms**. Firstly, we start with an introduction on **Python**, the libraries it contains and the programming environment. Furthermore, we also mention and present the environment we used for the above paper (**Spyder**) .

On the **2nd Part of Chapter 3** we analyze the algorithm. After presenting the problem and the data that is going to be used, we begin to present all the functions that are

necessary in order to complete the algorithm. Beginning from the coding procedure of the **Chromosomes** (and after selecting the **decimal encoding**) and finishing with the application of the algorithm, as well as the results on a 2nd more complex problem we solved with the algorithm.

Finally, we have included the conclusions we have ended up with, the appendix of the paper as well as some potential future extensions of the current research.

Keywords:

Auctions, Combinatorial Auctions, Genetic Algorithms.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ – Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο *Πανεπιστήμιο Μακεδονίας* κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο *τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής*. Παρόλα αυτά η επίτευξη της δεν θα ήταν ποτέ δυνατή χωρίς την σημαντική συμβολή και υποστήριξη ορισμένων ατόμων που συνέβαλαν σημαντικά στην διεκπεραίωση της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ρεφανίδη Ιωάννη για την ανάθεση, την παρακολούθηση, καθώς και καθοδήγηση μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Μέσω αυτής της διπλωματικής μου δόθηκε η δυνατότητα να αποκτήσω αρκετές γνώσεις πάνω στον τομέα των Combinatorial Auctions και των Γενετικών Αλγορίθμων, έναν τομέα με τον οποίο ήθελα να ασχοληθώ από το παρελθόν. Είμαι ευγνώμων σε όλες τους καθηγητές οι οποίοι έδειξαν ενδιαφέρον και μου μετέδωσαν τις γνώσεις τους καθ' όλη την πορεία των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν και με παρότρυναν σε κάθε δυσκολία.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Λέξεις Κλειδιά:.....	4
Abstract	5
Keywords:	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ – Πρόλογος	7
Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων	10
Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων	10
Κεφάλαιο 1.....	11
1.1 Βασική θεωρία δημοπρασιών.....	11
1.2 Είδη Δημοπρασιών	12
1.2.1 Αύξουσες(Ascending) και Φθίνουσες(Descending) Δημοπρασίες.....	12
1.2.2 Δημοπρασία Πρώτης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς(First-Price Sealed Bid).....	13
1.2.3 Ταυτόχρονες Αύξουσες Δημοπρασίες (Simultaneous Ascending Auctions (SAA))....	14
1.3 Συνδυαστικές Δημοπρασίες(Combinatorial Auction)	16
1.4 Vickrey-Clarke-Groves(VCG)	17
1.5 Επαναληπτικές Συνδυαστικές Δημοπρασίες(Iterative Combinatorial Auctions).....	19
1.6 Ex-Post Equilibrium στις Συνδυαστικές Δημοπρασίες	24
1.7 Γλώσσες Υποβολής Προσφορών(Bidding Languages).....	25
1.7.1 Ατομικές Προσφορές(Atomic Bids)	26
1.7.2 OR Bid	26
1.7.3 XOR Bids	27
1.7.4 Συνδυασμός OR και XOR	27
1.7.5 OR* Bids.....	28
1.8 Πεδία Εφαρμογής των Συνδυαστικών Δημοπρασιών	28
1.8.1 Μελέτη Περίπτωσης των Συνδυαστικών Δημοπρασιών στα Δρομολόγια των Λεωφορείων του Λονδίνου	29
Κεφάλαιο 2.....	33
2.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι.....	33

2.2 Χαρακτηριστικά Ενός Γενετικού Αλγόριθμου	36
2.3 Γενετικές Διαδικασίες και Ανάλυση των ΓΑ	38
2.4 Πλεονεκτήματα των Γ.Α.....	41
Κεφάλαιο 3.....	43
Σχεδίαση και Υλοποίηση Γενετικού Αλγόριθμου Συνδυαστικών Δημοπρασιών.....	43
3.1 Η γλώσσα προγραμματισμού Python	43
3.2 Περιβάλλον προγραμματισμού Python	47
3.2.1 Spyder.....	48
3.3 Ανάπτυξη Γενετικού Αλγόριθμου για Συνδυαστικές Δημοπρασίες.....	49
3.3.1 Παρουσίαση του προβλήματος	50
3.3.2 Κωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων	54
3.3.3 Καταλληλότητα των χρωμοσωμάτων	55
3.3.4 Αρχικοποίηση του πληθυσμού	56
3.3.5 Ο τελεστής της επιλογής	57
3.3.6 Ο τελεστής της διασταύρωσης.....	58
3.3.7 Ο τελεστής της μετάλλαξης.....	60
3.3.8 Εφαρμογή του αλγορίθμου.....	61
4. Συμπεράσματα	65
4.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις	66
5. Παράρτημα.....	67
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	68
6.1 Διευθύνσεις Internet.....	72

Πίνακας Περιεχομένων Εικόνων

Εικόνα 1: Μεταγλώττιση και εκτέλεση κώδικα Python
Εικόνα 2: Οι 10 πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού(δείκτης TIOBE)
Εικόνα 3 SEQ Εικόνα * ARABIC 3: Το κέλυφος της Python
Εικόνα 4: Το περιβάλλον του Spyder
Εικόνα 5: Προγραμματισμός Γ.Α. για συνδυαστικές δημοπρασίες
Εικόνα 6 Εισαγωγή Δεδομένων Εισόδου
Εικόνα 7: Παράμετροι του Προβλήματος
Εικόνα 8: Διασταύρωση απλού σημείου
Εικόνα 9: Τελεστής Μετάλλαξης
Εικόνα 10: Δεδομένα εισόδου για πρόβλημα 20 προϊόντων
Εικόνα 11: Αποτέλεσμα εκτέλεσης αλγορίθμου

Πίνακας Περιεχομένων Πινάκων

Πίνακας-1: Ποσότητες και τιμές προϊόντων
Πίνακας-2: Προσφορές για τα προϊόντα

Κεφάλαιο 1

1.1 Βασική θεωρία δημοπρασιών

Η θεωρία δημοπρασιών είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα θέματα στην οικονομία τα τελευταία 40 χρόνια. Οι δημοπρασίες ρωτούν και απαντούν στην πλέον βασική και θεμελιώδη ερώτηση στα οικονομικά: «Ποιος πρέπει να πάρει τα αγαθά και σε ποια τιμή?» [1]

Συνδυαστικές δημοπρασίες(Combinatorial Auctions) είναι αυτές οι δημοπρασίες στις οποίες οι αγοραστές τοποθετούν προσφορές σε έναν συνδυασμό αντικειμένων(που αποκαλούνται «**πακέτα**») και όχι σε μεμονωμένα αντικείμενα. [1]

Οι δημοπρασίες βέβαια καθορίζονται όχι μόνο από τους κανόνες των δημοπρασιών αλλά και από το περιβάλλον της δημοπρασίας. Οι **συνδυαστικές δημοπρασίες** μπορούν να μελετηθούν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων δημοπρασίας. Σημαντικά χαρακτηριστικά όπως ο αριθμός των αγοραστών και των πωλητών, ο αριθμός των αντικειμένων που ανταλλάσσονται, οι προτιμήσεις των αγοραστών, καθώς και η μορφή της ιδιωτικής πληροφορίας την οποία οι συμμετέχοντες έχουν για τις προτιμήσεις τους καθορίζουν το περιβάλλον της δημοπρασίας.

Γενικότερα κάθε δημοπρασία πρέπει να έχει 3 στοιχεία: **α) τους κανόνες προσφοράς(bidding rules**, δηλαδή πώς κάποιος μπορεί να κάνει μια προσφορά για κάτι και πότε), **β) οι κανόνες καθαρισμού της αγοράς(πότε αποφασίζεται ποιος αγόρασε τι και ποιος πληρώνει για τι) και γ) την αποκάλυψη των κανόνων πληροφορίας (Information disclosure rules)**, δηλαδή τι είδους πληροφορία σχετικά με την κατάσταση της προσφοράς αποκαλύπτεται σε ποιόν και πότε .[1]

1.2 Είδη Δημοπρασιών

Παρακάτω θα μελετήσουμε διάφορα είδη δημοπρασιών τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της δημοπρασίας που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε:

1.2.1 Αύξουσες(Ascending) και Φθίνουσες(Descending) Δημοπρασίες

Ξεκινώντας την ανάλυση μας πάνω στις δημοπρασίες θα αναφερθούμε στον πιο κλασικό τύπο δημοπρασίας μέσω του οποίου έχουν συστηθεί οι δημοπρασίες στο ευρύ κοινό. Αυτή είναι η **Αγγλική Δημοπρασία(English Action)** η οποία αποτελεί μια **αύξουσα(ascending) δυναμική** δημοπρασία δια-βοής. Με τον όρο **αύξουσα(ascending)** εννοούμε δημοπρασίες στις οποίες οι αγοραστές τοποθετούν προσφορές από προοδευτικά υψηλότερα ποσά με σκοπό να υποβάλλουν μια υψηλότερη προσφορά από τον αντίπαλο αγοραστή. Ο αγοραστής ο οποίος θα τοποθετήσει την υψηλότερη προσφορά κερδίζει. Μιας τέτοιας μορφής είναι και η **Αγγλική Δημοπρασία**. Στην δημοπρασία αυτή ο δημοπράτης ξεκινάει την δημοπρασία προτείνοντας μια υποθετική τιμή εκκίνησης για το προϊόν το οποίο είναι προς πώληση. Στην συνέχεια ο δημοπράτης αποδέχεται συνεχόμενα αυξημένες τιμές από το κοινό, ανάλογα με την ζήτηση του προϊόντος. Ο υψηλότερος πλειοδότης σε κάθε στιγμή θεωρείται πως έχει την τρέχουσα υψηλότερη προσφορά, η οποία μπορεί να αντικατασταθεί μόνο από μια υψηλότερη προσφορά από έναν ανταγωνιστή αγοραστή. Εάν κανένας ανταγωνιστής αγοραστής δεν ξεπεράσει την προσφορά για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, η προσφορά αυτή ανακηρύσσεται νικήτρια και το αντικείμενο πωλείται στον αγοραστή για μια τιμή ίση με την προσφορά που έχει υποβάλλει. Όπως καταλαβαίνουμε, η δημοπρασία αυτή δεν είναι μια **δημοπρασία δεσμευμένης προσφοράς (sealed**

bid). Αυτό σημαίνει πως όλοι οι αγοραστές γνωρίζουν τις προσφορές οι οποίες έχουν υποβληθεί από τους ανταγωνιστές τους σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή.
[7][e3]

Στην αντίπερα όχθη, με ακριβώς αντίθετα χαρακτηριστικά από την **Αγγλική Δημοπρασία** συναντάμε την **Ολλανδική Δημοπρασία(Dutch Auction)**. Η δημοπρασία αυτή είναι στην κατηγορία των **Φθινουσών Δημοπρασιών(Descending Auctions)**. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δημοπρασίες στις οποίες η τιμή πέφτει προοδευτικά μέχρι ένας αγοραστής να αποδεχτεί την τρέχουσα τιμή. Μια **Ολλανδική Δημοπρασία** λειτουργεί ως εξής: Ο δημοπράτης αρχικά θέτει μια πολύ υψηλή ζητούμενη τιμή. Στην συνέχεια την χαμηλώνει σταδιακά μέχρι κάποιος συμμετέχων να αποδεχθεί την τιμή ή έως ότου φτάσει μια προκαθορισμένη **ελάχιστη** τιμή. Αυτός ο τύπος δημοπρασίας είναι καλός εάν θέλουμε να πουλήσουμε αγαθά γρήγορα, καθώς μια πώληση ποτέ δεν απαιτεί περισσότερες από 1 προσφορές. Στρατηγικά, παρομοιάζεται με την Δημοπρασία **Πρώτης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς(First-Price Sealed Bid)** την οποία και θα μελετήσουμε παρακάτω.[7][e3]

1.2.2 Δημοπρασία Πρώτης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς(First-Price Sealed Bid)

Συνεχίζουμε επομένως την ανάλυση μας πάνω στις δημοπρασίες με την **Δημοπρασία Πρώτης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς(First-Price Sealed Bid)**. Σε αυτού του είδους την δημοπρασία όλοι οι αγοραστές ταυτόχρονα υποβάλλουν **δεσμευμένες προσφορές**, έτσι ώστε κανείς αγοραστής να μην γνωρίζει την προσφορά του άλλου συμμετέχοντα. Επομένως, καθώς οι αγοραστές δεν γνωρίζουν τι προσφορές έχουν πραγματοποιήσει οι υπόλοιποι πράκτορες, μπορούμε να πούμε πως έχουμε ένα **Μπαγιεσιανό παιχνίδι(Bayesian Game)** από άποψη στρατηγικής. Έτσι ο νικητής είναι αυτός ο οποίος έχει καταθέσει την υψηλότερη προσφορά χωρίς να έχει δικαίωμα να μειώσει την προσφορά του σε περίπτωση που η 2^η προσφορά που έχει κατατεθεί είναι κατά πολύ μικρότερη.[8] [e9]

Εξέλιξη αυτής της μορφής δημοπρασιών αποτελεί η **δημοπρασία Vickrey ή Δεύτερης-Τιμής Δεσμευμένης-Προσφοράς(Second-Price Sealed Bid)**. Σε αυτόν τον τύπο δημοπρασίας, όλοι οι αγοραστές υποβάλλουν δεσμευμένες προσφορές ταυτόχρονα όπως και στην **Πρώτης-Τιμής**. Η διαφορά σε σχέση με το προηγούμενο είδος δημοπρασίας έγκειται στο ότι ο αγοραστής στο τέλος πληρώνει αξία ίση με την προσφορά που έχει υποβάλλει ο δεύτερος υποψήφιος αγοραστής. Μια άλλη διαφορά έγκειται στο ότι σε αντίθεση με την **Πρώτης-Τιμής** στην οποία δεν υπάρχει **Κυρίαρχη Στρατηγική**, εδώ υπάρχει και είναι η **Υποβολή προσφοράς με Ειλικρίνεια (Bidding Truthfully)**. Αυτό συμβαίνει καθώς κανένας από τους πράκτορες δεν έχει στα συμφέροντα του να παρεκκλίνει από την βέλτιστη στρατηγική του. Επομένως πρέπει να υποβάλλει την ειλικρινή προσφορά του, καθώς εάν χάνει και μειώσει την προσφορά θα εξακολουθήσει να χάνει, ενώ σε περίπτωση που αυξήσει την προσφορά ενδέχεται να πληρώσει υπεραξία για το προϊόν σε περίπτωση που κερδίσει. Εάν νικάει ενδέχεται να χάσει σε περίπτωση που μειώσει την προσφορά, ενώ σε περίπτωση που την αυξήσει θα πληρώσει και πάλι την δεύτερη τιμή σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας της δημοπρασίας.[8][e9]

1.2.3 Ταυτόχρονες Αύξουσες Δημοπρασίες (Simultaneous Ascending Auctions (SAA))

Η συγκεκριμένη μορφή δημοπρασίας διαφέρει από την δημοπρασία Vickrey. Η βασική τους διαφορά έγκειται στο ότι η παραπάνω δημοπρασία είναι μια δημοπρασία που η σχεδίαση της εμπεριέχει πολλαπλούς γύρους.

Τα κομβικά στοιχεία της συγκεκριμένης μορφής δημοπρασίας είναι τα εξής: α) υπάρχει ανοικτή υποβολή προσφορών, β) ταυτόχρονες πωλήσεις και γ) δεν υπάρχουν πακέτα προσφορών.

Αυτού του είδους οι δημοπρασίες, εξακολουθούν να αποδίδουν καλά στην πράξη καθώς υπάρχει το πλεονέκτημα **ανακάλυψης της τιμής(price discovery)** το οποίο προέρχεται από την υποβολή προσφορών και τις ταυτόχρονες πωλήσεις. Με τον όρο **ανακάλυψη της τιμής** εννοούμε πως η τιμή στην αγορά καθορίζεται μέσω των κινήσεων των αγοραστών και των πωλητών. Έτσι ο κάθε αγοραστής προσπαθεί να εκμεταλλευτεί αυτές τις πληροφορίες που του δίνονται. Ένα πλεονέκτημα που προκύπτει είναι πως ο κάθε αγοραστής μπορεί να υποβάλλει προσφορές πιο επιθετικά, καθώς υπάρχουν καλύτερες πληροφορίες σχετικά με την αξία των αντικειμένων. [12][9]

Ο σχεδιασμός της δημοπρασίας αυτής έχει μια επαναληπτική δομή. Στην αρχή του κάθε γύρου, οι αγοραστές ταυτόχρονα πραγματοποιούν **δεσμευμένες προσφορές(Sealed Bids)** για οποιοδήποτε αγαθό αυτοί ενδιαφέρονται. Όταν ο γύρος με τις υποβολές προσφορών έχει ολοκληρωθεί, τα αποτελέσματα του γύρου δημοσιεύονται, κάτι το οποίο περιλαμβάνει τις ταυτότητες των νέων προσφορών και των αγοραστών, μαζί με την τρέχουσα υψηλότερη προσφορά και τον αντίστοιχο αγοραστή.

Η αρχική υψηλότερη τιμή στην αρχή της δημοπρασίας είναι **μηδέν(0\$)** και ο αντίστοιχος αγοραστής είναι ο δημοπράτης. Όσο η δημοπρασία προχωράει, η υψηλότερη προσφορά αλλάζει σε μια νέα υψηλότερη προσφορά και ο αγοραστής είναι το άτομο το οποίο πραγματοποίησε αυτή την προσφορά. Επιπρόσθετα, εκτός από την δημοσίευση των αποτελεσμάτων του τρέχοντος γύρου δημοσιεύονται και οι ελάχιστες προσφορές για τον επόμενο γύρο. Η ελάχιστη προσφορά υπολογίζεται παίρνοντας την υψηλότερη προσφορά και προσθέτοντας μια προκαθορισμένη ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 5-10%. Για να ολοκληρωθεί η δημοπρασία υπάρχουν διάφορες επιλογές. Ο **McAfee** πρότεινε πως η δημοπρασία πρέπει να ολοκληρώνεται μετά από έναν προκαθορισμένο αριθμό γύρων κατά τον οποίο δεν τοποθετούνται νέες προσφορές. Οι **Wilson και Milgrom** απ την άλλη πρότειναν πως όλες οι δημοπρασίες πρέπει να ολοκληρώνονται ταυτόχρονα, όταν δεν τοποθετείται νέα προσφορά σε ένα αγαθό.

Βέβαια η παραπάνω δημοπρασία έχει και κάποιους πολύ συγκεκριμένους περιορισμούς. Ένα αρκετά μεγάλο θέμα με την δημοπρασία αυτή είναι το ερέθισμα που δίνει για μείωση των απαιτήσεων. Για παράδειγμα, ας αναλογιστούμε μια δημοπρασία με δυο ίδια αγαθά και 2 αγοραστές. Ο 1^{ος} αγοραστής αξιολογεί ένα μοναδικό αγαθό σε μια τιμή έστω 3\$ και το σετ των αγαθών στα 6\$. Ο 2^{ος} αγοραστής αξιολογεί το κάθε αγαθό στα 2\$ και δεν τον ενδιαφέρει το σετ των αγαθών. Ο πωλητής ελπίζει πως το κάθε αγαθό θα πωληθεί στα 2\$(ϵ) και ο 1^{ος} αγοραστής θα κερδίσει και τα δυο αγαθά. Βέβαια, είναι προς το συμφέρον του 1^{ου} αγοραστή να πάρει το ένα αγαθό σε μηδενική τιμή παρά και τα 2 στην τιμή των 2\$ για την κάθε μια. Έτσι, στρατηγικά ο αγοραστής 1 παρακρατεί τις απαιτήσεις του για το δεύτερο αγαθό κάνοντας την δημοπρασία να καταλήξει σε μηδενικές τιμές. Το αποτέλεσμα αυτό βέβαια δεν είναι ικανοποιητικό λόγω των χαμηλών εσόδων και της έλλειψης αποτελεσματικότητας. [12] [9]

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός τους είναι η υποβαθμισμένη απόδοση τους σε εργαστηριακά πειράματα κατά τα οποία η κατάσταση του να βρεθούν υποκατάστατα αποτυγχάνει. [12][9]

1.3 Συνδυαστικές Δημοπρασίες(Combinatorial Auction)

Ο ευρύτερος σκοπός σε κάθε μορφής δημοπρασία είναι να πετύχει την αποτελεσματικότητα μέσω της μεγιστοποίησης των εσόδων του πωλητή. Με τον όρο **αποτελεσματικότητα** εννοούμε πως η κατανομή αγαθών και χρημάτων τα οποία προκύπτουν από την δημοπρασία είναι **Pareto Optimal**: αυτό σημαίνει πως καμία περαιτέρω ανταλλαγή μεταξύ των αγοραστών δεν μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση για κάποιον χωρίς να «πειράξει» κάποιον από τους εμπλεκόμενους. [10] Αυτό επιτυγχάνεται διασφαλίζοντας πως οι **Κανόνες Καθαρισμού(Clearing Rules)** μεγιστοποιούν το άθροισμα των αξιών τα οποία διάφοροι αγοραστές τοποθετούν στην πραγματική κατανομή που αποφασίζεται από τον πλειοδότη. Γενικότερα, μπορούμε να περιμένουμε πως μια αποτελεσματική δημοπρασία κατά την οποία οι

συμμετέχοντες υπήρξαν ικανοποιημένοι, επιτρέπει στον πωλητή να απορροφήσει υψηλότερα έσοδα από μια αναποτελεσματική δημοπρασία κατά την οποία η κοινωνική ικανοποίηση είναι μικρότερη. Η **αποτελεσματικότητα** επομένως, αν και είναι ένας ξεχωριστός στόχος, μπορεί να γίνει ένα βήμα ώστε να μεγιστοποιήσουμε τα κέρδη μας.[1][10]

Το πλεονέκτημα των **Συνδυαστικών Δημοπρασιών** είναι ότι ο πλειοδότης μπορεί να εκφράσει σε απόλυτο βαθμό τις προτιμήσεις του. Αυτό είναι σημαντικό ιδιαίτερα όταν τα αντικείμενα είναι **Συμπληρωματικά(Complementarity)**. Τα αντικείμενα είναι **συμπληρωματικά** όταν ένα «σετ» από αντικείμενα έχει μεγαλύτερη αξία από το άθροισμα των αξιών για τα αντικείμενα ξεχωριστά .Σε άλλες περιπτώσεις , ένας αγοραστής μπορεί να είναι διατεθειμένος να πληρώσει για το σύνολο των εμπορευμάτων λιγότερο απ' ότι είναι διατεθειμένος να πληρώσει για τα κομμάτια ξεχωριστά, ίσως και μόνο όσο κοστίζει το ένα κομμάτι. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν ο αγοραστής έχει περιορισμένο κεφάλαιο ή όταν τα αγαθά είναι παρόμοια (π.χ. 2 εισιτήρια για την ίδια παράσταση). Αυτά τα αντικείμενα ονομάζονται **Υποκατάστατα(Substitutability)**. [1]

1.4 Vickrey-Clarke-Groves(VCG)

Ο πιο διάσημος μηχανισμός Συνδυαστικής Δημοπρασίας είναι η **συνδυαστική γενίκευση της δημοπρασίας Vickrey** ή **αλλιώς το Vickrey-Clarke-Groves(VCG) mechanism**. Αυτός ο μηχανισμός δημοπρασίας αποτελεί ουσιαστικά μια γενίκευση της δημοπρασίας **Δεύτερης-Τιμής** που αναλύσαμε παραπάνω, με την διαφορά ότι αναφέρετε σε πλήθος αντικειμένων. Σε μια τέτοια δημοπρασία οι πλειοδότες αναφέρουν ταυτόχρονα(ή μη γνωρίζοντας τις προθέσεις των άλλων πρακτόρων) την προσφορά τους για όλα τα πακέτα. Ο κάθε νικητής πληρώνει το **Κόστος Ευκαιρίας(Opportunity Cost)** των κερδών του, δηλαδή την τιμή η οποία θα απορρέει αναθέτοντας τα αντικείμενα των πλειοδοτών ανάλογα με την επόμενη καλύτερη χρήση τους ανάμεσα στους υπόλοιπους πλειοδότες. Ένα απλό

παράδειγμα για να κατανοήσουμε ακριβώς πως λειτουργεί ο μηχανισμός μας έρχεται απ το ποδόσφαιρο. Έστω ότι έχουμε $N=10$ εισιτήρια για έναν αγώνα και $K=20$ αγοραστές. Μέσω της πώλησης των εισιτηρίων έχουμε ως σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους μας. Στην αρχή, κάθε φίλαθλος υποβάλλει την προσφορά του για ένα εισιτήριο. Στην συνέχεια οι προσφορές κατανέμονται από την υψηλότερη στην χαμηλότερη. Τα εισιτήρια θα δοθούν στα 10 άτομα τα οποία υπέβαλαν την υψηλότερη προσφορά. Ο κάθε ένας από αυτούς θα χρειαστεί να πληρώσει $K+1(10+1)$. Δηλαδή όλοι οι αγοραστές θα πληρώσουν την προσφορά η οποία έχει υποβληθεί από τον 11^ο. Με αυτό τον τρόπο, ένας νικητής πλειοδότης πετυχαίνει κέρδος ανάλογο με την συνεισφορά του στην συνολική αξιολόγηση και γίνεται κυρίαρχη στρατηγική για τον πλειοδότη έτσι ώστε να αναφέρει ειλικρινά την αξιολόγηση του.[6] [e6]

Βέβαια, υπάρχουν και κάποιες αδυναμίες στον παραπάνω τύπο δημοπρασίας. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της παραπάνω δημοπρασίας, είναι πως τα έσοδα που αποφέρει μπορεί να είναι πολύ χαμηλά ή μηδαμινά. Για παράδειγμα έστω ότι πωλούνται δυο πλοία σε τρεις αγοραστές. Ο αγοραστής 1 θέλει μόνο ως πακέτο και τα δυο πλοία και προσφέρει 1 εκατομμύριο δολάρια. Οι αγοραστές 2 και 3 προτίθενται να πληρώσουν 1 εκατομμύριο για το κάθε πλοίο. Καταλαβαίνουμε επομένως πως το αποτέλεσμα της δημοπρασίας δίνει τα πλοία στους αγοραστές 2 και 3 στην τιμή των 0 δολαρίων, καθώς ο αγοραστής 1 δεν υπέβαλλε προσφορά για κάθε πλοίο ξεχωριστά.

Ένα άλλο μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου είναι η ευπάθεια που έχει στην **απάτη** και την **συμπαιγνία(collusion)**, ακόμη και από χαμένους αγοραστές. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε μια δημοπρασία με δυο ίδιες άδειες για κάποιο κανάλι σε δυο αγοραστές. Ο αγοραστής 1 πληρώνει 2 δις για τις άδειες αυτές και τίποτα για μια μοναδική άδεια. Ο αγοραστής 2 πληρώνει 1 δις για την 1^η άδεια και 0,5 δις για την 2^η. Στην πραγματικότητα σε μια δημοπρασία Vickrey ο αγοραστής 1 θα πρέπει να κερδίσει και τα 2 αντικείμενα πληρώνοντας 1 δις και ο αγοραστής 2 δεν πρέπει να κερδίσει τίποτα. Παρόλα' αυτά, αν θεωρήσουμε ότι μιλάμε για μια δημοπρασία μέσω διαδικτύου ο αγοραστής 2 θα μπορούσε να υποβάλλει

προσφορές κάτω από 2 διαφορετικά ονόματα. Εάν υποβάλλει δυο δις για την 1^η άδεια ως αγοραστής² και 2 δις για την 2^η άδεια ως υποτιθέμενος αγοραστής³ στην πραγματικότητα θα κερδίσει και τις δυο άδειες μη πληρώνοντας τίποτα. Επομένως αυτή η στρατηγική μετατρέπει τον αγοραστή² σε νικητή. Εάν τώρα στο ίδιο παράδειγμα, ο αγοραστής 2 αντικατασταθεί από δυο αγοραστές οι οποίοι προτίθενται να πληρώσουν από 0,5 δις για την κάθε άδεια, τότε αυτοί οι αγοραστές μπορούν να πραγματοποιήσουν συμπαιγνία αυξάνοντας τις προσφορές τους σε 2 δις και μη πληρώνοντας τίποτα.

Εδώ να τονιστεί πως όλα αυτά τα μειονεκτήματα εμφανίζονται εάν τα προϊόντα που δημοπρατούνται δεν είναι υποκατάστατα. Στην περίπτωση που τα προϊόντα είναι υποκατάστατα μεταξύ τους και για παράδειγμα ο αγοραστής 1 δεν υπέβαλλε προσφορά μόνο για το πακέτο, αλλά ήταν διατεθειμένος να πληρώσει από 1 δις για την κάθε άδεια τα προβλήματα εξαλείφονται.

Ένα ακόμη μειονέκτημα είναι πως **υπάρχει Κυρίαρχη Στρατηγική(Dominant Strategy)** μόνο με δεδομένο πως ο αγοραστής δεν έχει κάποιο όριο στο κεφάλαιο του. Τέλος άλλο ένα μειονέκτημα είναι πως οι πλειοδότες ερωτούνται να εκφράσουν την αξιολόγηση τους για όλα τα πακέτα χωρίς να έχουν καμία πληροφορία για τις τιμές. [6][e6]

1.5 Επαναληπτικές Συνδυαστικές Δημοπρασίες(Iterative Combinatorial Auctions)

Στις **συνδυαστικές δημοπρασίες** γενικότερα ένα αρκετά σημαντικό πρόβλημα αποτελεί το γεγονός πως οι εκτιμήσεις μεταξύ των πρακτόρων μπορεί να είναι τόσο πολύπλοκες έτσι ώστε δεν υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας.

Οι **Επαναληπτικές συνδυαστικές δημοπρασίες** επιτρέπουν στους αγοραστές την υποβολή πολλαπλών προσφορών για όσο διαρκεί η δημοπρασία και παρέχουν μια ανατροφοδότηση στις πληροφορίες έτσι ώστε να υπάρχει από τους αγοραστές μια

καλύτερη εικόνα του τι συμβαίνει στην δημοπρασία και μια σωστή εξαγωγή πληροφοριών. Επομένως σε μια **επαναληπτική συνδυαστική δημοπρασία** οι πράκτορες μπορούν να προσαρμόσουν τις προσφορές τους σε συνάρτηση με τις προσφορές των αντίπαλων πρακτόρων, καθώς ο δημοπράτης συνεχώς αλλάζει την προσωρινή κατανομή και τις τιμές των δεσμών. Γενικότερα οι δημοπρασίες αυτές μπορούν να υπολογίσουν τις βέλτιστες λύσεις με πολύ λιγότερη χρήση πληροφοριών σε σχέση με τις **δεσμευμένες προσφορές** και χωρίς να χρειάζεται οι πράκτορες να υπολογίζουν ακριβείς αξίες για κάθε δέσμη αντικειμένων.[1][2][3]

Το βασικό χαρακτηριστικό της όλης διαδικασίας και κάτι το οποίο είναι ένας «πονοκέφαλος» κατά την σχεδίαση μιας επαναληπτικής συνδυαστικής δημοπρασίας είναι η ικανότητα να μετριάξει το **πρόβλημα εξαγωγής προτιμήσεων(Preference Elicitation Problem)**. Αυτό συμβαίνει καθώς ο ίδιος ο σχεδιασμός των δημοπρασιών αυτών είναι τέτοιος που απευθύνεται στο **πρόβλημα εξαγωγής προτιμήσεων** το οποίο προκύπτει λόγω των **προβλημάτων εκτίμησης**. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα στην δημοπρασία αυτής της μορφής να ρωτάει επιλεκτικά τους αγοραστές αν μπορεί να μειώσει την επικοινωνία που απαιτείται. Για παράδειγμα, εάν ο μηχανισμός φτάσει στην βέλτιστη λύση και το επιθυμητό αποτέλεσμα μετά από ένα μικρό αριθμό ερωτήσεων, οι υπόλοιποι πράκτορες θα συνειδητοποιήσουν πως δεν ήταν ικανοί να φτιάξουν μια προσφορά η οποία θα βελτίωνε την κατανομή και μπορεί να σταματήσουν την δημοπρασία χωρίς να δώσουν περισσότερες πληροφορίες στον δημοπράτη. Η μείωση αυτή στην επικοινωνία είναι χρήσιμη ακόμα και εάν η δημοπρασία είναι αρκετά μικρή, καθώς μειώνοντας την επικοινωνία μπορεί να ευνοήσει αγοραστές οι οποίοι θέλουν να αποκαλύψουν όσο το δυνατόν λιγότερα σχετικά με την αξία που προσφέρουν στους ανταγωνιστές και στον δημοπράτη.[1][2][3]

Επιπλέον, μπορούν να γίνουν ευκολότερα κατανοητοί από τους αγοραστές σε σύγκριση με πολύπλοκους άμεσους μηχανισμούς όπως το **VCG και εγγυώνται την διαφάνεια(transparency)**. Έτσι αυτή η δυναμική σχέση που υπάρχει σε αυτή την μορφή δημοπρασιών, οδηγεί στην αύξηση των εσόδων και την αποτελεσματικότητα σε δημοπρασίες **ενός αντικειμένου(Single-Item)**. Αυτό μετράει σημαντικά για

παράδειγμα σε κάποιες δημοπρασίες της κυβέρνησης για την δημόσια περιουσία, κατά την οποία όλοι θέλουν να είναι απόλυτα βέβαιοι ότι η δημοπρασία διεξήχθη νόμιμα και δίκαια.[1][2][3]

Βέβαια παρόλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι δημοπρασίες αυτές έχουν να αντιμετωπίσουν και μερικές σημαντικές προκλήσεις. Μια από αυτές σε σχέση με τον σχεδιασμό μιας τέτοιας δημοπρασίας είναι να υποστηρίξει την βαθμιαία και αυξητική υποβολή των προσφορών χωρίς να δίνει την δυνατότητα σε νέες στρατηγικές να εκθέσουν την ομαλότητα της επίτευξης των οικονομικών στόχων ή της αποδοτικότητας. Έτσι εύκολα καταλαβαίνουμε πως αυτοί οι μηχανισμοί είναι εξαιρετικά περίπλοκοι και χρειάζεται μεγάλη προσπάθεια στον σχεδιασμό. Επιπροσθέτως, μερικά μικρά ψεγάδια σε αυτό τον σχεδιασμό μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλα προβλήματα. Για παράδειγμα μπορούν να αυξήσουν κατά πολύ την στρατηγική: ένας πράκτορας μπορεί να προσαρμόσει τις δράσεις του πάνω σε οτιδήποτε έμαθε από τις δράσεις που έγιναν προηγουμένως από τους υπόλοιπους πράκτορες. Εκτός απ την πολυπλοκότητα που μπορεί να υπάρξει μεταξύ των πρακτόρων, αυτή η στρατηγική ευελιξία μπορεί επίσης να οδηγήσει σε ανεπιθύμητες συμπεριφορές. Για παράδειγμα, οι πράκτορες μπορεί να κάνουν μια προσφορά που δεν επιθυμούν έτσι ώστε να κάνουν σινιάλο μεταξύ τους(της μορφής «μην κάνεις προσφορά στην δέσμη μου και δεν θα κάνω στην δική σου»). Αυτό φυσικά αποτελεί **συμπαιγνία(collusion)** απέναντι στον δημοπράτη. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι οι πράκτορες μπορούν συχνά να κερδίσουν απλώς περιμένοντας από τους υπόλοιπους να αποκαλύψουν τις πληροφορίες τους , ειδικά σε επιλογές στις οποίες το να δηλώνεις την προσωπική σου αξία για την δέσμη είναι δαπανηρό. Η δημοπρασία πρέπει να σχεδιαστεί με ένα τρόπο ο οποίος δίνει στους πράκτορες ένα λόγο έτσι ώστε να ασκήσουν μια προσφορά νωρίς. Σε αυτή την περίπτωση μπορούν να εφαρμοστούν ορισμένοι **κανόνες δραστηριότητας(activity rules)** έτσι ώστε να εξαλειφτεί αυτό το φαινόμενο. [1][2][3]

Μια άλλη προσέγγιση είναι η ύπαρξη κάποιου είδους ποινής σε όποιον απλώς περιμένει, ή κάποιου είδους πλεονέκτημα σε όποιον πλειοδοτεί εξ αρχής έτσι ώστε

να μην είναι επικερδές πλέον για τον πράκτορα να περιμένει να αποκαλυφθούν οι πληροφορίες των υπολοίπων και να χρειάζεται να πλειοδοτήσει εξ αρχής.

Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι πως όποιος περιμένει δεν μπορεί να πλειοδοτήσει σε δέσμες που έχουν ήδη πλειοδοτηθεί άρα δεν είναι άμεσος ανταγωνιστής των υπολοίπων στην δημοπρασία.

Επομένως σχεδιαστικά μπορούμε να καταλήξουμε πως οι επαναληπτικοί αλγόριθμοι δημοπρασίας θα πρέπει να λύνουν σίγουρα τα παρακάτω ζητήματα:

- **Ζητήματα χρόνου:** Οι δημοπρασίες αυτές μπορούν να έχουν 2 μορφές. Είτε μπορούν να είναι **συνεχείς** επιτρέποντας έτσι προσφορές να υποβάλλονται σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή και να γίνονται συνεχείς αναβαθμίσεις της τρέχουσας κατάστασης στην δημοπρασία είτε μπορούν να είναι **διακριτές** με την αλλαγή κατάστασης να γίνεται περιοδικά και δίνοντας την δυνατότητα στους αγοραστές να επανεξετάσουν τα δεδομένα μόλις ολοκληρωθεί ένας γύρος.
- **Ανατροφοδότηση Πληροφοριών:** Εδώ πρέπει να δίνονται πληροφορίες σχετικά με την πορεία της δημοπρασίας και να δίνεται μια ανατροφοδότηση σχετικά με την τιμή και την τρέχουσα προσωρινή κατανομή. Αυτό μπορεί να προσφέρει πολύ αποδοτική κατεύθυνση σχετικά με την υποβολή προσφορών και να μηδενίσει την συμπαιγνία.
- **Κανόνες Υποβολής προσφορών :** Εκτός από τους **κανόνες δραστηριότητας** που αναφέραμε πριν και θα πρέπει σίγουρα να υπάρχουν σε οποιοδήποτε σχεδιασμό, σίγουρα σε μια επαναληπτική συνδυαστική δημοπρασία πρέπει να υπάρχει ένας **κανόνας βελτίωσης προσφορών**. Αυτός ο κανόνας σίγουρα θα εφαρμόζεται στην αρχή της δημοπρασίας, έτσι ώστε να μην μπορεί κανείς να υποβάλλει προσφορά για μια δέσμη χαμηλότερη από μια αποδεκτή τιμή. Επίσης θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα **μίνιμουμ ποσοστό** κατά το οποίο θα αυξάνεται η βέλτιστη προσφορά σε μια δέσμη σε σχέση με την υψηλότερη προσφορά που υπήρξε στο τέλος ενός γύρου προσφορών.

- **Κανόνες Τερματισμού:** Εδώ πρέπει να καθορίζεται το χρονικό πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να ολοκληρωθεί μια δημοπρασία. Βέβαια εάν υπάρξει ένα τέτοιο χρονικό πλαίσιο θα πρέπει να τεθούν πολύ ισχυροί κανόνες δραστηριότητας έτσι ώστε να μην οδηγηθούμε σε μια δημοπρασία δεσμευμένης προσφοράς, όπου όλοι οι αγοραστές περιμένουν μέχρι τον τελευταίο γύρο.
- **Διαμεσολαβητές(Proxy Agent):** Ένα τελευταίο κομμάτι που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την δημιουργία μιας τέτοιας δημοπρασίας είναι η ύπαρξη διαμεσολαβητών. Αυτό σημαίνει πως οι αγοραστές μπορούν να υποβάλλουν σε κάποιον **αυτόματο διαμεσολαβητή** τις προσφορές εκ μέρους τους κατά την διάρκεια της δημοπρασίας. Έτσι ο αγοραστής πρέπει να μπορεί να εκφράσει μερική και ανολοκλήρωτη πληροφορία ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα μια επαναληπτικής δημοπρασίας, δηλαδή την ανακάλυψη τιμής και την εξαγωγή πληροφοριών. Βέβαια όπως είναι λογικό υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την διαφάνεια και την εμπιστοσύνη που μπορεί να υπάρχει στην διαδικασία, από την στιγμή που μιλάμε για αυτοματοποιημένους πράκτορες. Ένα ενδιαφέρον κομμάτι είναι τι είδους ερωτήματα πρέπει να γίνονται. Τα πιο δημοφιλή είναι πιθανότατα τα **ερωτήματα αξίας(value queries)** καθώς και τα **ερωτήματα απαιτήσεων (demand queries)**. Ένας μηχανισμός ρωτά ένα **ερώτημα αξίας** όταν του προτείνει μια δέσμη και ρωτάει πόσο αξίζει για τον αγοραστή. Τα **ερωτήματα απαιτήσεων** είναι κατά κάποιον τρόπο το αντίθετο: ο μηχανισμός ρωτά ποιά δέσμη ο αγοραστής θα προτιμάει για κάποιες δοθείσες τιμές. [1] [2]

Το συμπέρασμα το οποίο βγαίνει επομένως γενικότερα από τις **επαναληπτικές συνδυαστικές δημοπρασίες** είναι πως στην χειρότερη περίπτωση, κάθε μηχανισμός ο οποίος επιτυγχάνει μια βέλτιστη ή σχεδόν βέλτιστη κατανομή στην ισορροπία πρέπει να λάβει ένα ποσό πληροφορίας ίσο σε μέγεθος με την **πλήρη αξία** ενός μοναδικού πράκτορα. Καθώς το μέγεθος της αξίας του είναι εκθετικό σε συνάρτηση με τον αριθμό των αγαθών, αυτό είναι αποθαρρυντικό. Βέβαια αυτό είναι το

χειρότερο σενάριο και αναφέρεται αποκλειστικά σε αγοραστές με απεριόριστη αξία. [2]

1.6 Ex-Post Equilibrium στις Συνδυαστικές Δημοπρασίες

Έστω ότι έχουμε ένα παιχνίδι στο οποίο δεν γνωρίζουμε όλες τις πληροφορίες, όπως μια **συνδυαστική δημοπρασία**. Μελετώντας την βιβλιογραφία των συνδυαστικών δημοπρασιών μπορούμε να παρατηρήσουμε πως απευθύνεται περισσότερο σε **μη-Μπαγесиανές ρυθμίσεις (Non-Bayesian settings)** και στο σενάριο της εφαρμογής μιας κυρίαρχης στρατηγικής. Μια καλή ιδιότητα γενικότερα για μια κυρίαρχη στρατηγική για ένα δεδομένο παιχνίδι είναι η **μοναδικότητα (uniqueness) της**. Βέβαια αυτή η ιδιότητα μπορεί να αποβεί παραπλανητική σε πολλές περιπτώσεις.

Έτσι, σε μια γενική **μη-Μπαγесиανή ρύθμιση**, κάποιος μπορεί να ορίσει την **ex-post ισορροπία**. Με τον όρο αυτό, εννοούμε ένα στρατηγικό προφίλ κατά το οποίο μονομερείς αποκλίσεις δεν είναι ευεργετικές. Σε αντίθεση με μια κυρίαρχη στρατηγική, κατά την οποία λαμβάνονται υπόψη οι αυθαίρετες συμπεριφορές των άλλων παικτών, σε μια **ισορροπία ex-post** μόνο οι συμπεριφορές άλλων παικτών οι οποίοι συμμορφώνονται με το προκαθορισμένο προφίλ στρατηγικής λαμβάνονται υπόψη. [20][21]

Αυτή η ισορροπία επομένως είναι αμετάβλητη και δεν εξαρτάται από τις ιδιωτικές πληροφορίες των αγοραστών, κάνοντας έτσι την ειλικρινή υποβολή προσφορών την καλύτερη απάντηση ανεξάρτητα με τις αξίες που έχουν οι υπόλοιποι αγοραστές.

Βέβαια, αν αναλογιστούμε την περίπτωση κατά την οποία όλοι οι παίκτες αναφέρουν με ειλικρίνεια τις αξίες τους για όλα τα σετ των αγαθών και παίρνουν μηδέν διαφορετικά. Αυτό το στρατηγικό προφίλ θα αποτελεί **ισορροπία ex-post** στον μηχανισμό **VCG** με βασικό πλεονέκτημα την πολύ μικρή επικοινωνιακή πολυπλοκότητα. Επίσης εάν το πάμε παραπέρα μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει

ένα ολόκληρο σεν με τέτοιες ισορροπίες το οποίο ονομάζεται **Ισορροπία Δεσμών(Bundling Equilibrium)**. Έτσι, μέσα από ορισμένες έρευνες οι οποίες έχουν γίνει -και για την περαιτέρω ανάλυση τους αρκεί μια μικρή έρευνα του αναγνώστη στην βιβλιογραφία που έχει παρατεθεί- παρατηρείται πως η **Ισορροπία Δεσμών είναι η μοναδική ισορροπία ex-post του VCG. [20][21]**

Ένα άλλο χρήσιμο πόρισμα το οποίο βγαίνει είναι πως **ισορροπία ex-post** από ένα παιχνίδι μπορεί να απαιτεί διαφορετικές ικανότητες έτσι ώστε να ακολουθηθεί από τους παίκτες. Έτσι σαν αποτέλεσμα, **ισορροπία ex-post** μπορεί να επιλεγθεί από τον μηχανισμό καθώς απαιτεί μικρότερη ποσότητα σε πόρους.

1.7 Γλώσσες Υποβολής Προσφορών(Bidding Languages)

Γενικότερα, έχουμε υποθέσει πως οι αγοραστές θα πρέπει να δώσουν μια τιμή για κάθε υποσύνολο των αγαθών στην δημοπρασία. Εφόσον υπάρχει εκθετικός αριθμός από τέτοια υποσύνολα, αυτό γρήγορα θα γίνει αδύνατο υπολογιστικά, ειδικά όσο ο αριθμός των αγαθών μεγαλώνει. Εάν θέλουμε να βρούμε τέτοιους μηχανισμούς για τις συνδυαστικές δημοπρασίες πρέπει να βρούμε ένα τρόπο να εκφράσουμε τις προσφορές με διαφορετικό τρόπο. Αυτός είναι μέσω των **Γλωσσών Υποβολής Προσφορών** οι οποίες μπορούν να κωδικοποιήσουν προσφορές. Σε μια τέτοια γλώσσα αρχικά θέλουμε να είναι αρκετά **εκφραστική** έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει όλες τις πιθανές **συναρτήσεις αξίας**. Δεύτερον, θέλουμε να είναι συνοπτική, έτσι ώστε να μην πιάνει χώρο ο οποίος είναι εκθετικός σε σχέση με τον αριθμό των αγαθών. Επίσης, θέλουμε η γλώσσα μας να είναι εύκολη στην κατανόηση από τους ανθρώπους, έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να την κατανοήσουν και να δημιουργήσουν πάνω σε αυτήν. Γι αυτό η δομή των προσφορών πρέπει να αντικατοπτρίζει τον τρόπο που σκεφτόμαστε για αυτές. Τέλος θέλουμε η γλώσσα να είναι **ανιχνεύσιμη** για τον αλγόριθμο του δημοπράτη όταν αυτός επεξεργάζεται και υπολογίζει μια κατανομή. Μερικές **τέτοιες γλώσσες** είναι:[2][4]

1.7.1 Ατομικές Προσφορές(Atomic Bids)

Μια **Ατομική Προσφορά** είναι ουσιαστικά ένα ζευγάρι ,έστω (S,p) , που υποδηλώνει πως ο αγοραστής είναι διατεθειμένος να πληρώσει μια τιμή p για το υποσύνολο από αγαθά S και η αξία ορίζεται ως $v(S)=p$. Αυτή η μορφή προσφοράς αφορά αποκλειστικά ένα υποσύνολο από αγαθά. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι ότι δίνουμε ως αγοραστής έστω 100\$ για μια τηλεόραση **ΚΑΙ** ένα DVD player. Αυτό που πρέπει να παρατηρηθεί είναι πως μια τέτοια προσφορά υπονοεί έμμεσα την ύπαρξη του τελεστή AND ανάμεσα στα αγαθά της δέσμης, καθώς αυτά πηγαίνουν πακέτο. Φυσικά αξίζει να σημειωθεί πως πολλές απλές προσφορές δεν μπορούν να εκφραστούν ως ατομικές προσφορές.[2][4]

1.7.2 OR Bid

Για να μπορέσουμε να αντιπροσωπεύσουμε αυτή την αξία, πρέπει να μπορούμε να υποβάλλουμε προσφορές σε διαζεύξεις από ατομικές αξίες. Δηλαδή πρέπει να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και εναλλακτικές προσφορές. Μια **OR προσφορά** είναι μια **διάζευξη(disjunctive)** από ατομικές προσφορές έστω $(S_1, p_1) \vee (S_2, p_2) \vee \dots \vee (S_k, p_k)$, η οποία μας δείχνει ότι ένας αγοραστής είναι πρόθυμος να πληρώσει ένα ποσό p_1 για το υποσύνολο των αγαθών S_1 ή ένα ποσό p_2 για το υποσύνολο των αγαθών S_2 . Για να κατανοήσουμε την χρήση της OR καλύτερα ερμηνεύουμε την OR σαν έναν τελεστή ο οποίος συνδυάζει συναρτήσεις αξίας. Είναι απλό να πιστοποιήσουμε ότι μια **OR** μπορεί να εκφράσει την προστιθέμενη αξία. Βέβαια εδώ να τονιστεί πως η δύναμη της εξακολουθεί να είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, μπορεί να θέλουμε να δώσουμε μια προσφορά για μια τηλεόραση ΚΑΙ ένα DVD για 100\$ ή για την τηλεόραση ΚΑΙ ένα πλυντήριο για 150\$, **αλλά όχι και για τα δύο**. Αυτό δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί μέσω μιας OR.[2][4]

1.7.3 XOR Bids

Εδώ δεν υπάρχει ο περιορισμός ο οποίος υπήρχε στην **OR**. Μια **XOR** προσφορά είναι στην ουσία μια **exclusive OR** από ατομικές προσφορές $(S_1, p_1) \oplus (S_2, p_2) \oplus \dots \oplus (S_k, p_k)$, που σημαίνει πως θα αποδεχτεί μια αλλά όχι περισσότερες από τις ατομικές προσφορές. Παρατηρούμε πως υπάρχει απεριόριστη εκφραστική δύναμη, καθώς είναι πιθανό να φτιάξεις μια προσφορά για μια αυθαίρετη αξία χρησιμοποιώντας **XOR bid** για κάθε πιθανό υποσύνολο $S \subseteq G$. Οι **XOR** αν και μπορούν να αντιπροσωπεύσουν όλες τις **συναρτήσεις αξίας**, δεν το κάνουν με όλες αποδοτικά. [2][4]

1.7.4 Συνδυασμός OR και XOR

Μπορούμε επίσης να δημιουργήσουμε προσφορές συνδυάζοντας τις OR και XOR. Ας θεωρήσουμε μια γλώσσα η οποία επιτρέπει στις προσφορές να παίρνουν την μορφή **OR of XOR of ατομικές προσφορές**. Καλούμε αυτές τις προσφορές **OR-of-XOR**. Μια τέτοια προσφορά είναι στην ουσία ένα σεν από XOR προσφορές, έτσι ώστε ο αγοραστής είναι διαθέσιμος να αποκτήσει οποιονδήποτε αριθμό από αυτές τις προσφορές. Όπως και η XOR έχουν απίστευτη αντιπροσωπευτική δύναμη αλλά μια διαφορά τους έγκειται στο ότι εξειδικεύονται στο να χρησιμοποιούν τις απλοποιημένες OR, το οποίο δίνει μεγαλύτερη απλότητα στην έκφραση όπως είδαμε και πριν. Σαν ένα συγκεκριμένο παράδειγμα, η OR-of-XOR μπορούν να εκφράσουν κάθε προς τα κάτω συμμετρική εκτίμηση σε m αντικείμενα σε μέγεθος μόνο m^2 . Βέβαια αυτή η γλώσσα δεν είναι αρκετά συμπαγής ακόμη. Για παράδειγμα, ακόμα και απλές ασύμμετρες εκτιμήσεις, μπορούν να απαιτούν τουλάχιστον ένα μέγεθος της μορφής $2^{m/m+1}$ για να εκφραστούν στην **OR-of-XOR γλώσσα**. Είναι ακόμη πιθανό να ορίσεις μια γλώσσα από **OR-of-XOR προσφορές** και

ακόμη μια γλώσσα η οποία επιτρέπει το αυθαίρετο φώλιασμα από **OR** και **XOR**. Αυτές οι γλώσσες θα διαφέρουν βέβαια στο πόσο συμπαγής είναι.[2][4]

1.7.5 OR* Bids

Η γλώσσα αυτή είναι ακριβώς ίδια με την **XOR**, παρέχει **αποκλειστικότητα(exclusivity)** και η μοναδική βελτίωση που παρατηρείται σε σχέση με την **XOR** είναι η δυνατότητα χρήσης των **εικονικών αγαθών(dummy goods)**. Τα αγαθά αυτά δεν ανταποκρίνονται σε πραγματικά αγαθά στην δημοπρασία, αλλά χρησιμοποιούνται για να υποχρεώσουν την επιβολή αμοιβαίου αποκλεισμού ανάμεσα στις προσφορές. Για παράδειγμα, εάν οι προσφορές o_1 και o_2 αναφέρονται στις δέσμες $e(\text{bid}_1)$ και $e(\text{bid}_2)$ και προορίζονται να είναι αμοιβαία αποκλειόμενες μπορούμε να προσθέσουμε ένα τέτοιο αγαθό d σε κάθε προσφορά. Έτσι το $e(\text{bid}_1)$ γίνεται $e(\text{bid}_1) \cup d$ και το $e(\text{bid}_2) \cup d$. Εφόσον το αγαθό d μπορεί να κατανεμηθεί μόνο μια φορά, το πολύ μια από αυτές τις προσφορές θα είναι σε κάθε κατανομή. Γενικότερα, είναι εφικτό να εισάγουμε **n-μονάδα εικονικά αγαθά** για να επιβάλλουμε την συνθήκη πως δεν μπορούν να κατανεμηθούν περισσότερα από n set προσφορών. Εδώ να αναφερθεί πως τα **εικονικά αγαθά** δεν έχουν επιπτώσεις στην βελτιστοποίηση του αλγορίθμου.[2][4]

1.8 Πεδία Εφαρμογής των Συνδυαστικών Δημοπρασιών

Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα **Συνδυαστικών Δημοπρασιών** στην πράξη. Κλασσικό παράδειγμα αποτελούν οι **μεσιτικές δημοπρασίες**. Μια κοινή διαδικασία είναι να βγαίνει σε δημοπρασία ένα ξεχωριστό αντικείμενο και στο τέλος να

αποδέχεται προσφορές για διάφορα πακέτα αντικειμένων. Αν ένα πακέτο ξεπερνά το άθροισμα των ξεχωριστών προσφορών για τα αντικείμενα του πακέτου, τότε τα αντικείμενα πωλούνται σαν πακέτο.

Επιπρόσθετα, η **Συνδυαστική Δημοπρασία** έχει εφαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανιών. Για παράδειγμα έχουν χρησιμοποιηθεί για μεταφορά φορτίων, δρομολόγια λεωφορείων και βιομηχανικές προμήθειες. Επίσης έχει προταθεί για την άφιξη στα αεροδρόμια και την αναχώρηση. Ακόμη μια χρήση τους βέβαια μπορεί να υπάρξει στο ραδιοφάσμα. Οι Συνδυαστικές Δημοπρασίες για το ραδιοφάσμα έχουν πραγματοποιηθεί στην Νιγηρία και τις Η.Π.Α.. Σε κάθε περίπτωση το κίνητρο για την χρήση μιας Συνδυαστικής δημοπρασίας είναι η παρουσία **συμπληρωματικότητας** ανάμεσα στα αντικείμενα. [1]

1.8.1 Μελέτη Περίπτωσης των Συνδυαστικών Δημοπρασιών στα Δρομολόγια των Λεωφορείων του Λονδίνου

Ένα παράδειγμα από την εφαρμογή τους το οποίο αξίζει να αναφερθεί σε μορφή Μελέτη Περίπτωσης, είναι από την χρήση μιας μορφής Συνδυαστικών Δημοπρασιών στα δρομολόγια των λεωφορείων του Λονδίνου.[1]

Η αγορά αυτή καλύπτει περίπου 800 δρομολόγια, καλύπτοντας μια περιοχή 1630 χιλιομέτρων και περισσότερων από 3,5 εκατομμύρια επιβατών την μέρα. Έχει κοστολογηθεί στα \$900 εκατομμύρια δολάρια. Στο παρελθόν τα δρομολόγια των λεωφορείων τα οργάνωνε η δημόσια ιδιοκτησία **London Buses Limited**. Μετά από μια αναδιάρθρωση του τομέα έθεσε υπεύθυνη την **London Regional Transport(LRT)** για τον έλεγχο των υπηρεσιών μεταφοράς στην περιοχή του Λονδίνου. Στα καθήκοντα τους ανατέθηκε επίσης η ανάπτυξη και λειτουργία των σταθμών λεωφορείου όπως και η συντήρηση. Ακόμη υποστηρίχθηκε ένα franchise σύστημα εξουσιοδοτώντας την LTR να προσκαλέσει ορισμένους ιδιωτικούς φορείς έτσι ώστε να υποβάλλουν προσφορές για την εκτέλεση των δρομολογίων του λεωφορείου.

Στην πράξη, η εισαγωγή του διαγωνισμού των δρομολογίων ήταν βαθμιαία. Υπήρξε αρχικά μια πειραματική φάση, καθώς η LRT δημιούργησε αρχικά μια πολύ καλή γνώση πάνω στις προμήθειες και αναγνώρισε τα δρομολόγια τα οποία είχαν την μεγαλύτερη προοπτική για μείωση του κόστους και το μικρότερο ρίσκο για να προκληθεί η οποιαδήποτε αναστάτωση. Αν και η 1^η δημοπρασία έλαβε χώρα το 1985, έπρεπε να περιμένουμε ως το 1995 ώστε το μισό δίκτυο να διαγωνιστεί έστω 1 φορά.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό της δημοπρασίας εξαρτήθηκε άμεσα από τις καταστάσεις και τις οικονομικές συνθήκες. Αρχικά, η LRT απεφάνθη πως ο ιδιωτικός τομέας στην Αγγλία δεν ήταν πιθανό να έχει την εξειδίκευση να παρέχει πλήρεις υπηρεσίες μεταφοράς σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον όπως το Λονδίνο.[1]

Ο σχεδιασμός πριν την εκκίνηση της δημοπρασίας είχε ως εξής:

Σε πρώτη φάση, **πρέπει να δοθεί ένας σαφής ορισμός των αντικειμένων που δημοπρατούνται**. Με 2 εξαιρέσεις τα αντικείμενα που πλειοδοτούνται είναι συμβόλαια για την λειτουργία ενός δρομολογίου. Πρώτον, οι **“διαδρομές κινητικότητας”**, οι οποίες είναι δρομολόγια χαμηλής συχνότητας με λεωφορεία ειδικά σχεδιασμένα για να εξυπηρετούν αναπηρικές καρέκλες και συνήθως δημοπρατούνται ως δέσμη. Ο λόγος είναι ότι τέτοια δρομολόγια από μόνα τους αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρό συμβόλαιο. Δεύτερον, τα πρωινά και νυχτερινά «κομμάτια» από το ίδιο δρομολόγιο συχνά δημοπρατούνται σαν ξεχωριστά συμβόλαια όταν απαιτούν διαφορετικό τύπο λεωφορείων. Η πρόθεση και στις 2 περιπτώσεις είναι να οριστεί ένα αντικείμενο ως μια ατομική σύμβαση. Τα συμβόλαια διαρκούν συνήθως 5 χρόνια αν και έχουν πειραματιστεί κατά καιρούς με διάφορους τύπους συμβολαίων. Έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως **συμβόλαια ακαθάριστου κόστους (“gross cost”)**.

Στην δεύτερη φάση, **πρέπει να παρθούν αποφάσεις σχετικά με το Sequencing και το Packaging**. Εξαρχής ο σχεδιασμός δημοπρασιών ο οποίος θα αυξήσει τον ανταγωνισμό και θα προσελκύσει νέες εισόδους στην αγορά ήταν μια προφανής

ανησυχία. Η επιλογή των δημοπρατούμενων δρομολογίων στα πρώτα χρόνια, και η απαίτηση τη ύπαρξης ενός μικρού αριθμού από οχήματα σε λειτουργία το αντικατοπτρίζουν αυτό.

Αυτή η ανησυχία επίσης επηρέασε το πώς η LRT αποφάσισε σχετικά με το πόσα δρομολόγια να δημοπρατήσει την ίδια στιγμή. Απ' την μια πλευρά, υπάρχουν πλεονεκτήματα σχετικά με το κοινό σταθερό κόστος και την αποτελεσματική συνεργασία. Αυτό μας οδηγεί στο να δημοπρατήσουμε ένα μεγάλο μέρος από συσχετιζόμενα δρομολόγια μαζί. [1]

Από την άλλη πλευρά βέβαια, οι μεγαλύτερες δημοπρασίες θα αποθάρρυναν την είσοδο από μικρότερους επενδυτές λόγω αδυναμίας του να δώσουν μια προσφορά για όλα τα δρομολόγια. Στο μέλλον βέβαια, η LRT άρχισε να διατηρεί μια δημοπρασία κάθε 2-3 εβδομάδες. Μια δημοπρασία καλύπτει κατά μέσο όρο 3,77 δρομολόγια, αν και το εύρος των δεδομένων πηγαίνει από 1 έως 21 δρομολόγια σε 1 δημοπρασία. Φυσικά όταν δίνονται πολλά δρομολόγια σε 1 δημοπρασία είναι συνήθως στην ίδια περιοχή του Λονδίνου.

Σχετικά με την συμμετοχή στην δημοπρασία, αυτή μπορεί να γίνει μόνο από επενδυτές οι οποίοι πέρασαν τα προκριματικά. Τα προκριματικά ελέγχουν την οικονομική σταθερότητα και την επιχειρησιακή ικανότητα των μελλοντικών επενδυτών. Όλοι όσοι περάσουν τα προκριματικά ενημερώνονται σχετικά με την επερχόμενη δημοπρασία.

Η διαδικασία της δημοπρασίας που εφαρμόστηκε στα δρομολόγια του Λονδίνου είναι μια **Πρώτης-Τιμής συνδυαστική δημοπρασία ελαφρώς τροποποιημένη**. Στην κλασική της μορφή, οι αγοραστές ταυτόχρονα υποβάλουν σφραγισμένες προσφορές σε κάθε ξεχωριστό αντικείμενο ή πακέτο από αντικείμενα. Έπειτα ο δημοπράτης λύνει το **WDP(Winner Determination Problem)** αποφασίζοντας για την καλύτερη προσφορά ανά αντικείμενο βασιζόμενος σε αυτές τις προσφορές και οι νικητές λαμβάνουν το ποσό που προσέφεραν ανάλογα με τα αντικείμενα που κέρδισαν. [1]

Όπως και στην κλασσική **Πρώτης-Τιμής συνδυαστική δημοπρασία**, έτσι και στην δημοπρασία του LRT οι αγοραστές μπορούν να υποβάλλουν προσφορές σε οποιονδήποτε αριθμό από δρομολόγια ή πακέτα δρομολογίων. Δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των προσφορών που θα τοποθετηθούν και δεν υπάρχει υποχρέωση να υποβάλλεις προσφορά σε κάποια συγκεκριμένα πακέτα η δρομολόγια. Συγκεκριμένα, ο αγοραστής μπορεί να υποβάλλει προσφορά σε ένα πακέτο χωρίς να έχει υποβάλλει προσφορά σε κάποιο από τα αντικείμενα του πακέτου ξεχωριστά.

Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό στην δημοπρασία αυτή είναι πως κάθε προσφορά είναι σαν μια επιχείρηση αλλά με **μη αποκλειστική(non-exclusive)** δέσμευση των πόρων. Αυτό σημαίνει πως δυο προσφορές σε διαφορετικά δρομολόγια έμμεσα ορίζουν μια προσφορά για το πακέτο αυτών των δρομολογίων. Μια σημαντική συνέπεια αυτού του κανόνα είναι πως οι αγοραστές δεν επιτρέπεται να προσφέρουν περισσότερα σε ένα πακέτο απ ότι το άθροισμα των προσφορών από κάθε διαίρεση αυτού του πακέτου. Αυτός ο κανόνας αποκλείει προσφορές οι οποίες εκφράζουν μειονεκτήματα στις **οικονομίες του πεδίου(economies of scope)** ή της **κλίμακας (economies of scale)**. Το σκεπτικό πίσω από αυτόν τον κανόνα είναι η προσδοκία πως η αγορά βασίζεται σε αυτές τις οικονομίες. Έτσι επιτρέποντας στους αγοραστές να εκφράσουν τέτοιες «συνεργίες» θα μειωθεί σημαντικά το κόστος προμηθειών και θα αυξηθεί η αποδοτικότητα.

Μετά την βεβαίωση πως οι προσφορές ικανοποιούν τις τεχνικές απαιτήσεις , η LRT δίνει τα συμβόλαια στον αγοραστή του οποίου η κατανομή δίνει την καλύτερη οικονομική προσφορά. Ο νικητής παίρνει το ποσό το οποίο προσέφερε για το συμβόλαιο και αναπροσαρμόζεται ετησίως. Για να επιτραπεί στους νικητές να παραγγείλουν νέα λεωφορεία και να οργανώσουν τις λειτουργίες τους , τα συμβόλαια ξεκινούν 8-10 μήνες μετά την ημέρα κατά την οποία έγινε η δημοπρασία.[1]

Κεφάλαιο 2

2.1 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Οι **Γενετικοί Αλγόριθμοι** είναι ένα παράδειγμα αλγορίθμων οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων. Αυτού του είδους οι αλγόριθμοι είναι επίσης γνωστοί με τον όρο **Εξελικτικοί Αλγόριθμοι**. Η πρώτη εμφάνιση των Αλγορίθμων αυτών έγινε στις αρχές του 1950 και χρησιμοποιήθηκε από διάφορους βιολόγους, στην προσπάθεια τους να κάνουν μια προσομοίωση κάποιων βιολογικών προβλημάτων. Η ανάπτυξη τους βέβαια στην τρέχουσα μορφή έγινε από τον **John Holland** στις αρχές του 1970 και τους συνεργάτες του στο πανεπιστήμιο του Michigan[13]. Η ιδέα πάνω στην οποία έχει στηριχθεί όλο το οικοδόμημα των **Γ.Α.** είναι η μίμηση των μηχανισμών της βιολογικής εξέλιξης. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι οι λαγοί και ο τρόπος αναπαραγωγής και εξέλιξης τους. Αν παρατηρήσουμε ένα πληθυσμό λαγών θα διαπιστώσουμε πως κάποιοι είναι πιο γρήγοροι και πιο έξυπνοι από τους υπόλοιπους. Επομένως αυτοί έχουν και μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης στο φυσικό τους περιβάλλον σε σχέση με τους υπόλοιπους. Φυσικά θα επιβιώσουν και κάποιοι λιγότερο ικανοί λαγοί λόγω διαφορετικών παραγόντων. Αυτοί εν συνεχεία, θα ξεκινήσουν την αναπαραγωγή. Το αποτέλεσμα θα είναι η νέα γενιά να είναι πιο έξυπνη και πιο γρήγορη από τους προγόνους τους. [18] Οι Γ.Α ασχολούνται με **άτομα** και **γενότυπους** και σε κάθε άτομο ή γενότυπο περιέχονται **χρωμοσώματα**. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από **γονίδια**. Στους Γ.Α. γενικότερα αναφερόμαστε σχεδόν πάντα σε άτομα με ένα χρωμόσωμα. Επιπλέον, σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωμοσώματος που ονομάζονται **loci**, μπορούμε να βρούμε ορισμένα γονίδια τα οποία επηρεάζουν συγκεκριμένα γνωρίσματα του κάθε ατόμου. Κάθε γνώρισμα του ατόμου μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται

το γονίδιο που το επηρεάζει. Οι καταστάσεις αυτές ονομάζονται **alleles(τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος)**. [18][23]

Ο τρόπος λειτουργίας των Γενετικών Αλγορίθμων επομένως όπως αντιλαμβανόμαστε είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία . Οι βασικές έννοιες πάνω στις οποίες στηρίζεται όλο το οικοδόμημα των ΓΑ είναι η επιλογή, η διασταύρωση και η μετάλλαξη. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι έχουν την εξής δομή: Αρχικά, οι τιμές για τις παραμέτρους του συστήματος κωδικοποιούνται ώστε να αναπαρασταθούν από μια μεταβλητή που περιέχει μια σειρά δυαδικών ψηφίων(συνήθως 0 ή 1) ή χαρακτήρων. Έπειτα, ο Γενετικός Αλγόριθμος παράγει πολλαπλά αντίγραφα της μεταβλητής(ή αλλιώς του γεννητικού κώδικα) δημιουργώντας έτσι έναν πληθυσμό λύσεων. Τέλος, κάθε λύση δοκιμάζεται για το πόσο κοντά φέρνει την αντίδραση του συστήματος στην επιθυμητή, μέσω μιας συνάρτησης η οποία ονομάζεται **αντικειμενική συνάρτηση** . [e16][11]

Οι λύσεις που βρίσκονται πιο κοντά στην επιθυμητή, σε σχέση με τις άλλες, επιλέγονται στοχαστικά και αναπαράγονται στην επόμενη γενιά λύσεων λαμβάνοντας μια τυχαία μετάλλαξη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για αρκετές γενιές, οι τυχαίες μεταλλάξεις σε συνδυασμό με την επιβίωση και αναπαραγωγή των γονιδίων που πλησιάζουν καλύτερα το επιθυμητό αποτέλεσμα θα παράγουν ένα γονίδιο που θα περιέχει τις τιμές για τις παραμέτρους που ικανοποιούν όσο καλύτερα γίνεται την αντικειμενική συνάρτηση. Επομένως, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να φτάσει όσο πιο κοντά γίνεται στην βέλτιστη λύση. [11][23]

Η απόδοση του Γ.Α εξαρτάται επί το πλείστον από την αντικειμενική συνάρτηση και συγκεκριμένα από το κατά πόσο το μέτρο της περιγράφει την βέλτιστη λύση. Οι γενετικοί αλγόριθμοι επομένως ουσιαστικά προσπαθούν να μιμηθούν την διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης, πάντα έχοντας ως δεδομένο μια αρχική κατάσταση η οποία θα οδηγήσει σε μια αρκετά καλή τελική κατάσταση. Έτσι, το συμπέρασμα μας είναι πως οι γενετικοί αλγόριθμοι προσπαθούν να βρουν τη λύση ενός προβλήματος προσομοιώνοντας την εξέλιξη ενός πληθυσμού «λύσεων» του προβλήματος.

Εδώ να αναφέρουμε πως ο κάθε γενότυπος μπορεί να μας δώσει μια λύση σε ένα πρόβλημά μας. Το περιεχόμενο το οποίο έχει υποστεί μετάφραση του χρωμοσώματος ονομάζεται αλλιώς και **φαινότυπος**. Οι Γ.Α έχουν πολλές λύσεις, πάνω στο πρόβλημα που μας αφορά, σε αντίθεση με άλλες μεθόδους οι οποίες επεξεργάζονται μόνο ένα σημείο του διαστήματος αναζήτησης. Με αυτό τον τρόπο ο Γ.Α. πραγματοποιεί αναζήτηση σε πολλές κατευθύνσεις και υποστηρίζει την καταγραφή μεταξύ των κατευθύνσεων. Έτσι οι καλές λύσεις αναπαράγονται και οι κακές απομακρύνονται. Η αποτίμηση των λύσεων γίνεται μέσω μιας **αντικειμενικής συνάρτησης**. [18].

Η συχνή χρήση των ΓΑ ως εργαλείο βελτιστοποίησης εύκολα παραπλανεί κάποιον πως πρόκειται αποκλειστικά για αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Αυτό βέβαια δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, καθώς υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις κατά τις οποίες οι ΓΑ αποτυγχάνουν να βρουν την βέλτιστη λύση σε έναν χώρο αναζήτησης.

Επιπροσθέτως, αν και οι ΓΑ ανήκουν στην κατηγορία των στοχαστικών αλγορίθμων, διαφέρουν αρκετά από τους αλγόριθμους που εφαρμόζουν τυχαίες μεθόδους αναζήτησης καθώς είναι σε θέση να συνδυάζουν στοιχεία από άμεσες και στοχαστικές μεθόδους αναζήτησης.

Συνοψίζοντας, όπως ανέφεραν στα βιβλία τους οι **Goldberg(1989)** και **Michalewicz(1992)** και συνόψισαν εξαιρετικά οι **Γεωργόπουλος και Λυκοθανάσης(2003)** μπορούμε να πούμε πως ένας Γ.Α. πρέπει να αποτελείται από ορισμένα συστατικά. Αυτά είναι:

- 1) **Μια γενετική αναπαράσταση για πιθανές λύσεις στο πρόβλημα,**
- 2) **Δημιουργία Πληθυσμού από αρχικές λύσεις,**
- 3) **Μια αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης,**

- 4) Γενετικούς τελεστές για την δημιουργία των λύσεων,
- 5) Τιμές για διάφορες παραμέτρους που χρησιμοποιεί ο ΓΑ(μέγεθος πληθυσμού, πιθανότητα εφαρμογής των γενετικών τελεστών κλπ).
[11][13][18]

2.2 Χαρακτηριστικά Ενός Γενετικού Αλγόριθμου

Τα κύρια χαρακτηριστικά, σύμφωνα με τον **D.Goldberg(1989)[11]** και όπως τα αποτύπωσαν οι **Γεωργόπουλος και Λυκοθανάσης(2003)[13]** που διαφοροποιούν έναν αλγόριθμο σε Γενετικό είναι:

- 1) **“Οι ΓΑ δουλεύουν με μια κωδικοποίηση ενός συνόλου τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος.”** Επομένως, στους ΓΑ η πρώτη ενέργεια είναι πάντα η κωδικοποίηση, καθώς τους επιτρέπει να κάνουν παράλληλη επεξεργασία δεδομένων. Κύριος στόχος της κωδικοποίησης είναι η αναπαράσταση με ικανοποιητικό τρόπο όλων των επιμέρους χαρακτηριστικών των λύσεων, έτσι ώστε να διευκολύνονται οι επόμενες λειτουργίες του αλγορίθμου. Αποτέλεσμα της κωδικοποίησης είναι η ύπαρξη ομοιοτήτων στα άτομα, με σκοπό την κατάλληλη εκμετάλλευσή τους. Αυτό συμβαίνει διότι οι ομοιότητες βοηθούν στην κατεύθυνση του ψαξίματος.
- 2) **“Μπορούν να κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα.”** Με αυτό τον τρόπο επομένως, η επεξεργασία πηγαιίνει από σημείο σε σημείο στον Γ.Α.. Επιπλέον, στους ΓΑ δεν υφίσταται ο κίνδυνος περιορισμού της αναζήτησης, καθώς οι ενέργειες που υλοποιούνται γίνονται σε πολλά σημεία ταυτόχρονα. Έτσι μπορούν να πραγματοποιούν το λεγόμενο

hillclimbing, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα να βρουν λάθος κορυφή. Με τον όρο αυτό εννοούμε την ταυτόχρονη αναζήτηση σε πολλούς «λόφους» ταυτόχρονα και την ελαχιστοποίηση του λάθους.

3) Σε αντίθεση επιπλέον με τις κλασσικές μεθόδους, ένας ΓΑ αρχίζει το ψάξιμο του από έναν πληθυσμό συνδυασμών συμβολοσειρών και κατόπιν παράγει διαδοχικά καινούριους. Έτσι ο αλγόριθμος -αφού τρέξει- δημιουργεί νέους πληθυσμούς που συγκλίνουν προς την επιθυμητή λύση.

4) **«Οι ΓΑ χρησιμοποιούν μόνο την αντικειμενική συνάρτηση και καμία επιπλέον πληροφορία.»** Γενικότερα, το ψάξιμο στους ΓΑ είναι κατά κάποιο τρόπο στην τύχη, καθώς αξιοποιούν μόνο όση πληροφορία περιέχεται στην αντικειμενική συνάρτηση. Γενικότερα η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει ως είσοδο μια αποκωδικοποιημένη συμβολοσειρά και επιστρέφει μια τιμή(συνήθως πραγματική), που είναι ανάλογη του πόσο καλά λύνει το πρόβλημα η συγκεκριμένη συμβολοσειρά. Η τιμή αυτή αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα επιβίωσης ή όχι του ατόμου.[23]

Επομένως η αντικειμενική συνάρτηση παίζει τον ρόλο του περιβάλλοντος. Αποτελεί την μοναδική πληροφορία που δέχεται ο αλγόριθμος και είναι σημαντικό να είναι εύκολα υπολογίσιμη έτσι ώστε να μην επιβραδύνονται οι ρυθμοί της διαδικασίας.

Σε κάθε λύση, δηλαδή σε κάθε πιθανή τιμή της μεταβλητής X , αντιστοιχεί και μια **τιμή ικανότητας ή απόδοσης(fitness ή score)**. Αυτή η τιμή αξιολογεί το πόσο καλή είναι η λύση για την μεγιστοποίηση της συνάρτησης.

Αφού έχουμε καθορίσει την κωδικοποίηση και την αντικειμενική συνάρτηση ολοκληρώνεται και το πρώτο στάδιο εφαρμογής ενός ΓΑ.

5) **«Χρησιμοποιούνται πιθανοθεωρητικοί κανόνες αναζήτησης και όχι ντετερμινιστικοί».** Φυσικά, όπως μπορούμε να καταλάβουμε δεν είναι όλα τυχαία στους γενετικούς αλγορίθμους. Ναι μεν οι πιθανοθεωρητικοί κανόνες είναι κομβικής σημασίας στους Γ.Α. και αποτελούν βασικό τους στοιχείο,

αλλά το στοιχείο της τύχης εφαρμόζεται μέσω των γενετικών τελεστών που υπάρχουν και χρησιμοποιείται κυρίως ως οδηγός για αναζήτηση σε περιοχές που αναμένεται να προσδώσουν καλά αποτελέσματα. [23][11]

2.3 Γενετικές Διαδικασίες και Ανάλυση των ΓΑ

Εδώ περιλαμβάνονται οι λειτουργίες που ανήκουν στην φάση που τρέχει ο ΓΑ. Αρχικά πραγματοποιείται ο κύριος όγκος της εργασίας και τέλος παράγεται το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης. Η δομή του ΓΑ αποτελείται από τα εξής βήματα όπως τα έχει συνοψίσει ο **Λυκοθανάσης(2003)[23]** :

1. **Αρχικοποίηση(Initialization)**
2. **Αποκωδικοποίηση(Decoding)**
3. **Υπολογισμός Ικανότητας(Fitness Calculation)**
4. **Αναπαραγωγή(Reproduction)**
 - A) **Επιλογή (Selection)**
 - B) **Διασταύρωση (Crossover)**
 - Γ) **Μετάλλαξη(mutation)**
5. **Επανάληψη από το βήμα (2) μέχρι να ικανοποιηθεί το κριτήριο τερματισμού του ΓΑ. [23]**

Ξεκινώντας την ανάλυση των γενετικών διαδικασιών, πρώτη συναντάμε την **αρχικοποίηση**. Με τον όρο **αρχικοποίηση** εννοούμε τον ορισμό ενός αρχικού πληθυσμού. Αφού γίνει αυτό ο ορισμός ουσιαστικά ξεκινάει να λειτουργεί ο Γ.Α. Η επιλογή του πληθυσμού γίνεται καθαρά μέσω τυχαιοκρατικών μεθόδων ανάμεσα σε όλες τις δυνατές τιμές των μεταβλητών του προβλήματος και το μέγεθος του ορίζεται από τον χρήστη. Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες διαδικασίες και προκύψει η πρώτη γενιά, ο πληθυσμός αξιολογείται με βάση την δυνατότητα επιβίωσης του κάθε ατόμου. [18][23]

Ανάλογη είναι και η λειτουργία της **αποκωδικοποίησης**. Τον ρόλο του γονότυπου παίζει η δομή της συμβολοσειράς . Ο φαινότυπος αναφέρεται στο πως φαίνεται μια συμβολοσειρά στο περιβάλλον της. Με τον όρο περιβάλλον όμως εννοούμε την **Αντικειμενική Συνάρτηση**, άρα ο φαινότυπος αντιστοιχεί στην αποκωδικοποιημένη μορφή της η οποία ανήκει στο σύνολο ορισμού της αντικειμενικής συνάρτησης.

Ο σκοπός του **Υπολογισμού της Ικανότητας** είναι να υπολογιστεί η πιθανότητα επιβίωσης για όλα τα άτομα. Η εφαρμογή του βασίζεται στο ότι για κάθε συμβολοσειρά του πληθυσμού, η απόδοση της υπολογίζεται μέσω τις αντικειμενικής συνάρτησης.[18][23]

Στην συνέχεια έχουμε την διαδικασία της **επιλογής**. Κατά την διαδικασία της **επιλογής** εφαρμόζεται ότι και στην φύση κατά κάποιο τρόπο. Δηλαδή επικρατεί ο νόμος της επιβίωσης του ισχυρού. Μέσω αυτής της διαδικασίας καθορίζονται τα άτομα τα οποία κατάφεραν να «επιβιώσουν» και θα κληροδοτήσουν μερικές ή όλες τις ιδιότητες τους στην επόμενη γενιά. Στόχος της λειτουργίας αυτής είναι να παρέχει την **αύξηση** των ικανότερων ατόμων εκθετικά έτσι ώστε να επικρατήσουν του ανταγωνισμού τους μετά την αναπαραγωγή. Χωρίς μιας μορφής επιλογή στην αναπαραγωγική διαδικασία οι ΓΑ θα έλεγε κανείς πως επιτελούν αναζήτηση «στα τυφλά». Ο καλύτερος τρόπος έκφρασης του **τελεστή αναπαραγωγής** είναι μέσω μιας **εξαναγκασμένης ρουλέτας** .Ο τρόπος λειτουργίας αυτής της ρουλέτας είναι ο εξής: Ανάλογα με την απόδοση που έχει, κάθε συμβολοσειρά αντιπροσωπεύεται στην ρουλέτα με το αντίστοιχο ποσοστό. Στην συνέχεια επιλέγεται ένας τυχαίος αριθμός ανάμεσα στο διάστημα που έχει οριστεί. Οι συμβολοσειρές οι οποίες έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στην ρουλέτα, όπως είναι λογικό θα επιλεγούν σε βάθος χρόνου πολύ πιο συχνά από τις υπόλοιπες. Έτσι όσο δημιουργούνται αντίγραφα και αλλάζουν οι γενιές θα έχουν το μεγαλύτερο πλήθος αντιγράφων στην επόμενη γενιά. Στην αντίπερα όχθη, όσες έχουν χαμηλό ποσοστό σταδιακά θα εξαφανιστούν. Η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης επιπλέον θα είναι $f(x) = x^2$. Έτσι, αφού γίνει η επιλογής της συμβολοσειράς δημιουργείται ένα ακριβές αντίγραφο της. Μέσω αυτής της διαδικασίας δημιουργείται ένας πληθυσμός ο οποίος θα υποστεί

περισσότερες γενετικές διαδικασίες. Ο πληθυσμός ονομάζεται αλλιώς **δεξαμενή ζευγαρώματος(mating Pool)**. [18]

Στην συνέχεια μετά την **επιλογή** ακολουθεί η διαδικασία της **Αναπαραγωγής**. Αυτή η διαδικασία χωρίζεται σε δυο στάδια: την **Διασταύρωση(crossover)** και την **Μετάλλαξη(mutation)**.

Ξεκινώντας απ την διασταύρωση ο προσωρινός πληθυσμός που προέκυψε από την **διαδικασία επιλογής** πρέπει να περάσει την **διαδικασία ζευγαρώματος**. Η νέα ομάδα ατόμων που προέκυψε από την επιλογή σχηματίζει με τυχαίο τρόπο ομάδες των δύο. Σε κάθε ομάδα τα δυο μέλη παίρνουν μέρος σε μια ανταλλαγή γενετικού υλικού, η οποία ονομάζεται **διασταύρωση**. Στόχος της διασταύρωσης είναι η νέα γενιά που θα προκύψει μετά την εφαρμογή της να περιλαμβάνει άτομα που θα διαφέρουν από τους γονείς τους και θα φέρουν συνδυασμό των καλύτερων χαρακτηριστικών τους. Ενδεικτικό της χρησιμότητας της **διασταύρωσης** είναι η ανακατεύθυνση του ψαξίματος σε νέες περιοχές του χώρου αναζήτησης. [23] Με αυτό τον τρόπο διευρύνεται το πεδίο δράσης του αλγορίθμου και αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχίας του. Ακόμη, τα νέα άτομα που θα προκύψουν από το ζευγάρι θα περιέχουν συνδυασμούς χαρακτηριστικών των γονέων τους. Έτσι προκύπτουν συνδυασμοί υψηλής ικανότητας. Στην περίπτωση που μετά την διασταύρωση τα παιδιά έχουν χειρότερα γενετικά χαρακτηριστικά απ τους γονείς, η πιθανότητα πολλαπλασιασμού τους στον επόμενο αναπαραγωγικό κύκλο είναι αισθητά περιορισμένη, λόγω μικρής απόδοσης. Εάν ορίσουμε την διασταύρωση ως πιθανότητα, ονομάζεται **πιθανότητα διασταύρωσης(crossover probability) p_c** , και καθορίζεται από τον εκάστοτε σχεδιαστή του ΓΑ. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή στην **πιθανότητα διασταύρωσης** τόσο περισσότερο χρησιμοποιείται ο τελεστής. Αυτό προφανώς βέβαια σημαίνει και πως η διασταύρωση θα γίνεται με πολύ μικρό βήμα και θα καθυστερεί χαρακτηριστικά. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως πρέπει να επιλέγουμε πάντα μικρή τιμή στην πιθανότητα διασταύρωσης. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της τόσο μεγαλύτερα άλματα κάνει στον αλγόριθμο αποκλίνοντας από την βέλτιστη λύση. Η καλύτερη λύση σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι η επιλογή

μεγάλου βήματος αναζήτησης στην αρχή και όταν ο αλγόριθμος προσεγγίζει το βέλτιστο να γίνεται η αλλαγή σε μικρό βήμα αναζήτησης.[23][18]

Το επόμενο μέρος στην φάση της αναπαραγωγής είναι η **Μετάλλαξη**. Η λειτουργία της δρα ως εξής: Καθώς γίνεται η αντιγραφή των ψηφίων από τον γονέα στον απόγονο, επιλέγεται τυχαία ένα ψηφίο και αντιστρέφεται (πχ σε δυαδική μορφή το 0 γίνεται 1). Εδώ να δοθεί προσοχή πως το βασικό σημείο της μετάλλαξης προϋποθέτει να είναι μικρό το **P_m (πιθανότητα μετάλλαξης)** καθώς σε αντίθετη περίπτωση ο ΓΑ θα πραγματοποιεί τυχαία αναζήτηση. Η τιμή στην οποία πρέπει να βρίσκεται η **πιθανότητα μετάλλαξης συνήθως** κυμαίνεται ανάμεσα στο 5-10%. Ο βασικός ρόλος για τον οποίο χρησιμοποιούμε την μετάλλαξη είναι για να μην χαθούν βασικές πληροφορίες από την επιλογή και την διασταύρωση οι οποίες πραγματοποιήθηκαν προηγουμένως. [23][18]

Τέλος, κατά την ανάλυση ενός Γενετικού Αλγορίθμου, θα πρέπει πάντα να ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα προς την υλοποίηση του[23]:

- Καθορισμός κωδικοποίησης μεταβλητών
- Καθορισμός των Δομών Δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν
- Επιλογή Αντικειμενικής Συνάρτησης
- Υλοποίηση Αξιολόγησης και Επιλογής
- Υλοποίηση τελεστών Διασταύρωσης και Μετάλλαξης
- Αρχικοποίηση
- Κριτήριο Τερματισμού.[23]

2.4 Πλεονεκτήματα των Γ.Α.

Οι Γ.Α. έχουν πάρα πολλά πλεονεκτήματα γι αυτό αξίζει κάποιος να ασχοληθεί μαζί τους. Το βασικό πλεονέκτημα, είναι πως **επιλύουν προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα**, δηλαδή έχουν μεγάλη αποδοτικότητα. Συγκεκριμένα συναρτήσεις με

μεγάλη διακύμανση δεν μπορούν να επιλυθούν με άλλον αλγόριθμο, λόγω αδυναμίας εύρεσης των ακρότατων τους. Ακόμη **μπορούν να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα**, καθιστώντας αχρείαστη την επανασχεδίαση τους. Αυτό συμβαίνει διότι χρησιμοποιούν αποκλειστικά πληροφορίες της διαδικασίας ή της συνάρτησης που θα βελτιστοποιήσουν χωρίς να τους ενδιαφέρει ο ρόλος στο σύστημα. Ένα άλλο σημαντικό προσόν είναι πως **είναι επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι**, με αποτέλεσμα να μην αντιστέκονται σε επεκτάσεις και εξελίξεις από την πλευρά του σχεδιαστή. **Μπορούν επιπλέον να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους και εμφανίζονται σε περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο.** Αυτό συμβαίνει μέσω της ελευθερίας επιλογής κριτηρίων. Έτσι χρησιμοποιούνται σε πολλούς διάφορους τομείς όπως η οικονομία, οι μαθηματικές εξισώσεις, στα Νευρωνικά δίκτυα και πολλά άλλα. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός υβριδικού σχήματος ΓΑ με άλλη μέθοδο.[18][13]

Επιπλέον, **δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται**, πράγμα το οποίο αποτελεί τον βασικό λόγο που οι παραδοσιακές μέθοδοι είναι δύσκαμπτες. Αυτό συμβαίνει καθώς, οι παραδοσιακές μέθοδοι απαιτούν την ύπαρξη περιορισμών(π.χ. ύπαρξη παραγώγων).Αυτά είναι αδιάφορα για τους ΓΑ πράγμα που τους κάνει κατάλληλους για ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων. **Δεν τους ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας**, πράγμα το οποίο συμβαίνει καθώς η μοναδική επικοινωνία των Γ.Α. με το περιβάλλον είναι μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης. Επίσης, **μπορεί να πραγματοποιηθεί παράλληλη υλοποίηση**, χρησιμοποιώντας τα πλεονεκτήματα των παράλληλων μηχανών ,κάνοντας τους ακόμη πιο αποδοτικούς. Αυτό συμβαίνει διότι οι ΓΑ επεξεργάζονται μεγάλες ποσότητες πληροφορίας από την στιγμή που κάθε άτομο είναι αντιπρόσωπος πολλών άλλων. Η πολυπλοκότητα είναι της τάξης του $O(n^3)$. Αυτό σημαίνει πως 10 άτομα αντιπροσωπεύουν περίπου 1000. Έτσι καλύπτουν μεγάλους χρόνους σε μικρούς χώρους. Τέλος, **κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.** Αυτή είναι μια τεχνική η οποία τους κάνει και ιδιαίτερα αποδοτικούς καθώς επιτυγχάνουν τον βέλτιστο συνδυασμό εξερεύνησης και εκμετάλλευσης.[18][13]

Κεφάλαιο 3

Σχεδίαση και Υλοποίηση Γενετικού Αλγορίθμου Συνδυαστικών Δημοπρασιών

3.1 Η γλώσσα προγραμματισμού Python

Η γλώσσα Python είναι μια υψηλού επιπέδου γενικού σκοπού γλώσσα προγραμματισμού η οποία δημιουργήθηκε από τον Ολλανδό Guido Van Rossum και πρωτοκυκλοφόρησε το 1991, ως διάδοχος της γλώσσας ABC. Ο βασικός στόχος, κατά τη σχεδίαση της γλώσσας, ήταν η δημιουργία μίας όσο το δυνατόν απλής γλώσσας προγραμματισμού με ιδιαίτερα αναγνώσιμο κώδικα, με τη βοήθεια της οποίας να μπορούν να γραφτούν προγράμματα με λιγότερες εντολές σε σχέση με άλλες δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού. Τον Οκτώβριο του 2000 κυκλοφόρησε η έκδοση 2.0 της γλώσσας, προσφέροντας σημαντικές νέες δυνατότητες. Από το σημείο αυτό και μετά, η εξέλιξη της γλώσσας βασίστηκε περισσότερο στην αυξανόμενη κοινότητα προγραμματιστών Python που δημιουργήθηκε. Μετά από μία μακρά περίοδο δοκιμών, τον Δεκέμβριο του 2008, εμφανίστηκε η έκδοση 3.0 της γλώσσας, η οποία δεν είναι απόλυτα συμβατή με τις προηγούμενες εκδόσεις. Μάλιστα, ενώ αρχικά ως τέλος της υποστήριξης για την έκδοση 2.7 της Python τέθηκε το έτος 2015, στη συνέχεια αναβλήθηκε για το 2020 αφού δεν ήταν καθόλου εύκολο να μετατραπούν όλα τα υπάρχοντα προγράμματα, ώστε να είναι συμβατά με την έκδοση 3. Η νεότερη έκδοση της γλώσσας για το καλοκαίρι του 2018 είναι η έκδοση 3.7.[24]

Η Python διατίθεται ως ανοιχτό λογισμικό (open source) με άδεια Python Software Foundation License (PSFL), η οποία είναι συμβατή με την GNU General Public License (GPL). Η άδεια PSFL όμως, δεν αποτελεί άδεια copyleft, δηλαδή επιτρέπεται

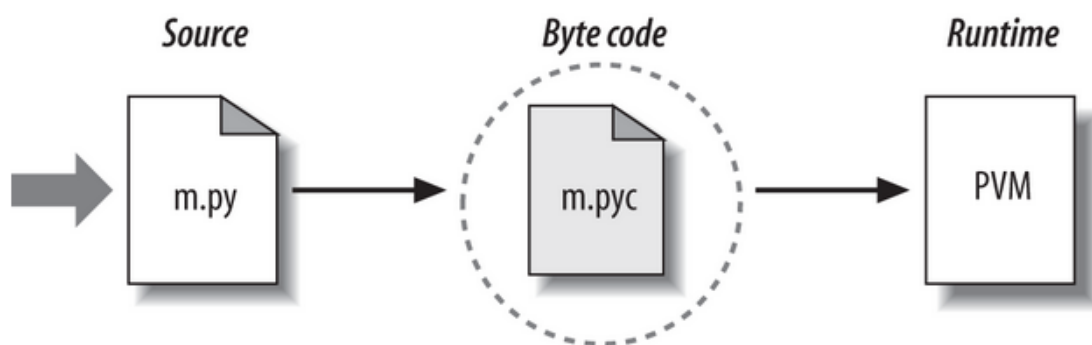
η διανομή παραγώγων της γλώσσας, χωρίς την υποχρέωση για διανομή του πηγαίου κώδικα. Η διαχείριση της γλώσσας γίνεται από οργανισμό Python Software Foundation, ο οποίος είναι μη κερδοσκοπικός οργανισμός. Ο δημιουργός της γλώσσας, κατείχε τον άτυπο τίτλο του Benevolent dictator for life (BDFL), δηλαδή του ηγέτη της κοινότητας Python, μέχρι τον Ιούλιο του 2018, οπότε και παραιτήθηκε του ρόλου αυτού. Το όνομα της γλώσσας προήλθε από την ομάδα Άγγλων κωμικών με το όνομα Monty Python.

Η γλώσσα Python αποτελεί γλώσσα δυναμικού ελέγχου τύπου των δεδομένων και αυτόματης διαχείρισης μνήμης. Επιτρέπει την εφαρμογή τόσο τεχνικών διαδικαστικού προγραμματισμού, όσο και αντικειμενοστραφούς ή συναρτησιακού προγραμματισμού. Για λόγους αναγνωσιμότητας του κώδικα, σε αντίθεση με τις κυριαρχούσες γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες χρησιμοποιούν άγκιστρα, κατά τον προγραμματισμό σε Python, είναι σημαντικοί οι μη εκτυπώσιμοι χαρακτήρες, όπως τα κενά ή οι χαρακτήρες στηλοθέτησης (white space). Η Python δεν αποδίδει τύπο στα ονόματα των μεταβλητών αλλά στα αντικείμενα. Δεν υπάρχουν δηλαδή δηλώσεις σχετικά με τον τύπο της κάθε μεταβλητής, αλλά κατά την εκτέλεση των διάφορων λειτουργιών, γίνεται έλεγχος αν τα αντικείμενα που συμμετέχουν είναι συμβατά με τις λειτουργίες αυτές, ανάλογα με τον τύπο τους. Υπάρχει μάλιστα ισχυρός έλεγχος τύπων, δηλαδή δεν επιτρέπονται λειτουργίες οι οποίες δεν είναι σαφώς διατυπωμένες ως προς τους τύπους των αντικειμένων.[24]

Η Python διαθέτει πληθώρα έτοιμων βιβλιοθηκών οι οποίες διευκολύνουν τη συγγραφή των προγραμμάτων, δίνοντας τη δυνατότητα της επαναχρησιμοποίησης (reusability) τμημάτων του κώδικα. Η γλώσσα διαθέτει διερμηνευτές (interpreters) για διάφορα λειτουργικά συστήματα, επιτρέποντας την δημιουργία και εκτέλεση προγραμμάτων Python σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα. Υπάρχουν μάλιστα εργαλεία, όπως τα Py2exe και Pyinstaller, που επιτρέπουν τη δημιουργία αυτόνομων εκτελέσιμων προγραμμάτων, ώστε ο τελικός χρήστης να είναι απαραίτητο να εγκαταστήσει κάποιον διερμηνευτή.

Η πιο δημοφιλής υλοποίηση της γλώσσας Python, ονομάζεται CPython και έχει υλοποιηθεί σε γλώσσα C, ακολουθώντας το πρότυπο C89. Διανέμεται μαζί με μία

τεράστια βιβλιοθήκη έτοιμου κώδικα σε C και Python και είναι διαθέσιμη για τις πιο διαδεδομένες πλατφόρμες, όπως Windows, Linux, MacOS κτλ. Ο πηγαίος κώδικας (source code) βρίσκεται συνήθως σε ένα ή περισσότερα αρχεία με επέκταση .py. Στη συνέχεια ο κώδικας αυτός μεταγλωττίζεται σε κάποιον ενδιάμεσο κώδικα (bytecodes) με επέκταση .pyc. Ο κώδικας αυτός με τη σειρά του, εκτελείται με τη βοήθεια του κατάλληλου διερμηνευτή (interpreter) στο περιβάλλον της εγκατεστημένης εικονικής μηχανής Python (Python Virtual Machine – PVM), στην πλατφόρμα που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η δυνατότητα να μπορεί ο κώδικας να εκτελεστεί σε διαφορετικές πλατφόρμες, κάτι ανάλογο με τη γλώσσα προγραμματισμού Java. Στην Εικόνα 1 εμφανίζεται ο τρόπος μεταγλώττισης και εκτέλεσης κώδικα Python με την υλοποίηση CPython.[25]



Εικόνα 1: Μεταγλώττιση και εκτέλεση κώδικα Python

Υπάρχουν υλοποιήσεις της γλώσσας οι οποίες αντί για διερμηνευτή χρησιμοποιούν δυναμική μεταγλώττιση του κώδικα (Just In Time compiler - JIT), όπως η PyPy. Τέτοιες υλοποιήσεις επιτρέπουν συνήθως τη γρηγορότερη εκτέλεση του κώδικα. Άλλες υλοποιήσεις, όπως η Jython, επιτρέπουν την εκτέλεση του κώδικα με τη βοήθεια της εικονικής μηχανής της Java (Java Virtual Machine - JVM). Υπάρχουν επίσης και διάφορες άλλες υλοποιήσεις της Python, όπως η IronPython που έχει γραφτεί σε C# με στόχο τη χρήση με το .NET Framework ή η Stackless Python για προγραμματισμό με μικρονήματα.

Η Python συγκαταλέγεται πλέον στις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού, τόσο στο χώρο των επαγγελματιών του χώρου, όσο και στον χώρο της εκπαίδευσης.

Στην Εικόνα 2 εμφανίζονται οι 10 πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού σύμφωνα με τον δείκτη TIOBE για τον Αύγουστο του 2018 (TIOBE, 2018). Η TIOBE είναι εταιρία εξασφάλισης ποιότητας λογισμικού και δημιουργεί έναν δείκτη που αφορά τη χρήση των γλωσσών προγραμματισμού, τον οποίο ενημερώνει κάθε μήνα. Οι τιμές του δείκτη αυτού ανανεώνονται και διαμορφώνονται λαμβάνοντας πληροφορίες από εκατοντάδες πηγές που αφορούν την χρήση γλωσσών προγραμματισμού. Η Python πλησιάζει στην πρώτη τριάδα του συγκεκριμένου δείκτη έχοντας αυξητικές τάσεις. Μάλιστα, σε έρευνα που είχε γίνει το 2005 η πιο δημοφιλής γλώσσα στα Αμερικάνικα πανεπιστήμια για εισαγωγικά μαθήματα προγραμματισμού ήταν η Java με ποσοστό 60%. Αυτή τη στιγμή η πιο δημοφιλής γλώσσα είναι η Python με ποσοστό μεγαλύτερο του 70% (TIOBE, 2018). Τα πιο πάνω δείχνουν τη δυναμική της γλώσσας και ότι θα βρίσκεται πολύ ψηλά στις προτιμήσεις των προγραμματιστών και για τα επόμενα χρόνια.[26]

Aug 2018	Aug 2017	Change	Programming Language	Ratings	Change
1	1		Java	16.881%	+3.92%
2	2		C	14.966%	+8.49%
3	3		C++	7.471%	+1.92%
4	5	▲	Python	6.992%	+3.30%
5	6	▲	Visual Basic .NET	4.762%	+2.19%
6	4	▼	C#	3.541%	-0.65%
7	7		PHP	2.925%	+0.63%
8	8		JavaScript	2.411%	+0.31%
9	-	▲▲	SQL	2.316%	+2.32%
10	14	▲▲	Assembly language	1.409%	-0.40%

Εικόνα 2: Οι 10 πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού(δείκτης TIOBE)

3.2 Περιβάλλον προγραμματισμού Python

Ο προγραμματισμός σε γλώσσα Python μπορεί να γίνει με βοήθεια οποιουδήποτε κειμενογράφου (editor) και στη συνέχεια η εκτέλεση του κώδικα μπορεί να γίνει από την γραμμή εντολών. Μπορούμε επίσης να μπούμε σε περιβάλλον του κελύφους (shell) της Python, εκτελώντας την ομώνυμη εντολή και στη συνέχεια να δώσουμε εντολές προς τον διερμηνευτή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.

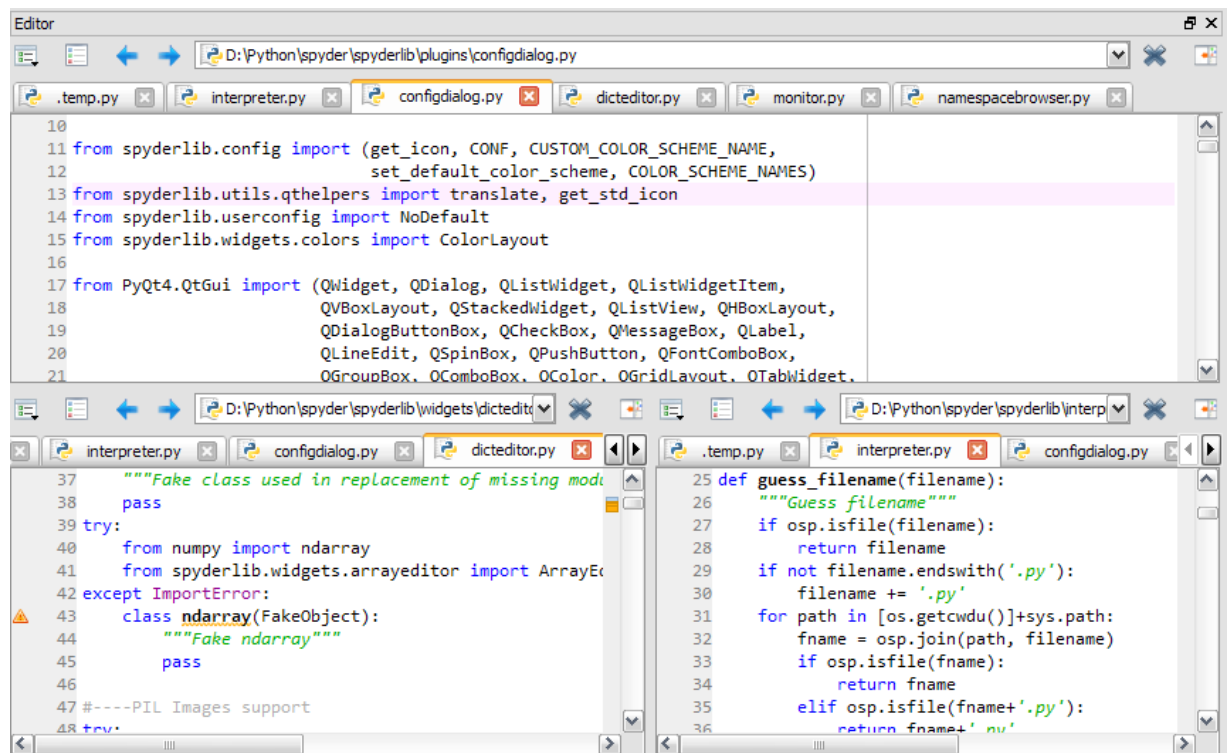
Υπάρχουν ολοκληρωμένα περιβάλλοντα προγραμματισμού (Integrated Development Environments – IDE) για τη γλώσσα Python.. Το περιβάλλον το οποίο προτιμήθηκε για την παρούσα εργασία ήταν αυτό του Spyder, το οποίο παρουσιάζεται πιο κάτω.[24]

```
Python 3.6.6 (default, Jun 27 2018, 13:11:40)
[GCC 8.1.1 20180531] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> 3+7
10
>>> x = 4
>>> x*2
8
>>> █
```

Εικόνα 3 SEQ Εικόνα * ARABIC 3: Το κέλυφος της Python

3.2.1 Spyder

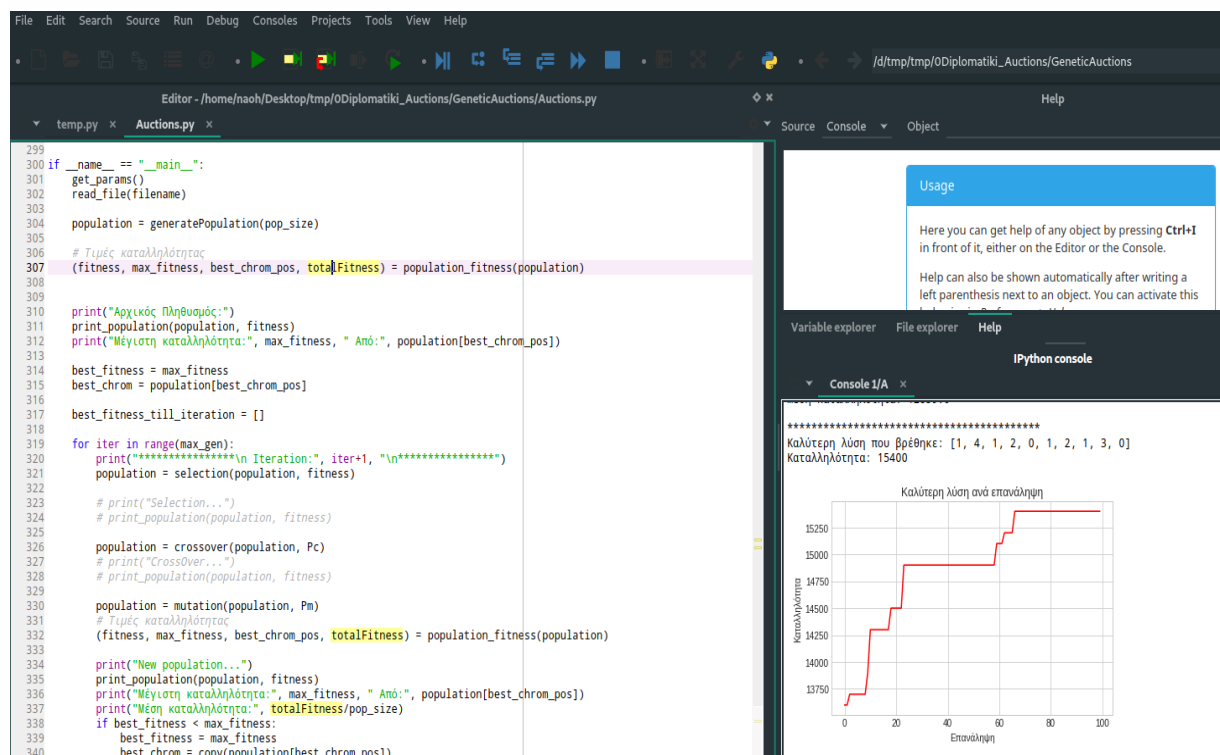
Το Spyder (Scientific PYthon Development EnviRonment) είναι ένα πολύ εύχρηστο IDE για την ανάπτυξη προγραμμάτων Python που διαθέτει έναν πολύ ισχυρό κειμενογράφο με δυνατότητες χρωματισμού κώδικα, ελέγχου και αποσφαλμάτωσης προγραμμάτων, αυτόματη συμπλήρωση κώδικα κτλ (Εικόνα 4). Υποστηρίζει τον διερμηνευτή iPython, καθώς και τη χρήση δημοφιλών βιβλιοθηκών, όπως η NumPy, η SciPy για την επεξεργασία σήματος και εικόνας και η Matplotlib για τη δημιουργία γραφημάτων. Το Spyder αποτελεί λογισμικού ανοικτού κώδικα και συμπεριλαμβάνεται στη διανομή Anaconda, η οποία αποτελεί μία συλλογή χρήσιμων πακέτων για την ανάλυση δεδομένων και τη μηχανική μάθηση.[25]



Εικόνα 4: Το περιβάλλον του Spyder

3.3 Ανάπτυξη Γενετικού Αλγορίθμου για Συνδυαστικές Δημοπρασίες

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν τα βήματα για την εφαρμογή τεχνικών Γενετικών Αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικών δημοπρασιών. Η υλοποίηση του αλγόριθμου έγινε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python 3.6.6 σε περιβάλλον Spyder for 3.x (Εικόνα 5). Κατά την εκτέλεση του προγράμματος εμφανίζεται η βέλτιστη λύση που εντοπίστηκε από την εφαρμογή του Γενετικού Αλγορίθμου και ένα γράφημα το οποίο δείχνει την απόδοση της βέλτιστης λύσης που εντοπίζεται από γενιά σε γενιά. Τα βήματα για τη σχεδίαση του αλγορίθμου περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.



Εικόνα 5: Προγραμματισμός Γ.Α. για συνδυαστικές δημοπρασίες

3.3.1 Παρουσίαση του προβλήματος

Θεωρούμε ένα πρόβλημα συνδυαστικών δημοπρασιών το οποίο αφορά τα προϊόντα με τις ποσότητες και τις τιμές που εμφανίζονται πιο κάτω (Πίνακας-1). Αντίστοιχα, ο Πίνακας-2 περιέχει πληροφορίες για τις προσφορές που έχουν κατατεθεί για τα προϊόντα αυτά.

Πίνακας-1: Ποσότητες και τιμές προϊόντων

Προϊόν	Ποσότητα	Τιμή
1	10	300
2	9	400
3	8	100
4	11	300
5	11	200
6	5	500
7	12	100
8	6	450
9	8	150
10	7	100

Πίνακας-2: Προσφορές για τα προϊόντα

Bidder	Προσφορά	Τιμή	Προϊόν	Ποσότητα
1	1	1800	7	1
			6	1
			3	2
			1	1
			8	2
	2	1700	2	1
			8	2
			4	2
2	1	1500	7	1
			9	2
	2	2700	1	1
			2	2
			10	2
			9	1
			7	2
	3	1600	3	1
			6	2
			5	2
3	1	2000	8	1
			7	1
			1	2
			6	1
			9	2
	2	1400	2	1
			7	2
			10	2

4	1	1200	5	1
			7	1
			1	2
	2	2600	2	1
			4	2
			7	2
			3	1
			8	2
	3	2500	9	1
			10	2
			7	2
			3	2
5	1	2300	10	1
			8	1
			4	2
			5	1
			2	2
	2	2700	10	1
			9	2
			8	2

Τα δεδομένα του προβλήματος θα πρέπει να διαβαστούν από το πρόγραμμα, κάνοντας χρήση των βιβλιοθηκών της Python. Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται αποθηκευμένα σε ένα απλό αρχείο κειμένου που έχει την κατάλληλη μορφή, όπως φαίνεται στην Παρακάτω Εικόνα.

```
1 10
2 10 300
3 9 400
4 8 100
5 11 300
6 11 200
7 5 500
8 12 100
9 6 450
10 8 150
11 7 100
12 5
13 2
14 5
15 7 1 6 1 3 2 1 1 8 2
16 1800
17 3
18 2 1 8 2 4 2
19 1700
20 3
21 3
22 3 1 7 1 9 2
23 1500
24 5
25 1 1 2 2 10 2 9 1 7 2
26 2700
27 3
28 3 1 6 2 5 2
29 1600
```

Εικόνα 6 Εισαγωγή Δεδομένων Εισόδου

Στην πρώτη στήλη της εικόνας, με γκρι φόντο φαίνεται απλά η αρίθμηση των γραμμών του αρχείου. Το αρχείο έχει την πιο κάτω δομή:

- Στην 1η γραμμή εμφανίζεται το πλήθος των προϊόντων.
- Στις γραμμές 2 ως 11 εμφανίζονται οι ποσότητες και οι τιμές για τα προϊόντα αυτά (Πίνακας-1).
- Στην γραμμή 12 εμφανίζεται το πλήθος των ατόμων που έχουν καταθέσει προσφορές (bidders).

- Στην γραμμή 13 έχουμε το πλήθος των προσφορών για το πρώτο άτομο.
- Στην γραμμή 14 έχουμε το πλήθος των προϊόντων που περιλαμβάνει η 1η προσφορά.
- Στην γραμμή 15 εμφανίζονται τα προϊόντα που περιλαμβάνει η 1η προσφορά μαζί με τις αντίστοιχες ποσότητες.
- Στην γραμμή 16 έχουμε το ποσό που αντιστοιχεί στην 1η προσφορά.
- Στις γραμμές 17 ως 19 έχουμε τις αντίστοιχες πληροφορίες για τη 2η προσφορά του 1ου bidder.
- Στις γραμμές 20 ως 29 έχουμε τις αντίστοιχες πληροφορίες για τον 2ο bidder.
- Στις επόμενες γραμμές του αρχείου ακολουθούν οι πληροφορίες για τις υπόλοιπες προσφορές.

Τα δεδομένα από το αρχείο εισόδου διαβάζονται με τις κατάλληλες εντολές Python και τοποθετούνται σε κατάλληλη δομή δεδομένων ώστε να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια του αλγορίθμου.

3.3.2 Κωδικοποίηση των χρωμοσωμάτων

Για την κωδικοποίηση των ατόμων του πληθυσμού για την εφαρμογή του Γενετικού Αλγορίθμου, επιλέχτηκε η δεκαδική κωδικοποίηση. Για κάθε ένα από το άτομα που συμμετέχουν στη δημοπρασία, μία λύση περιλαμβάνει τον αριθμό της προσφοράς που επιλέγεται για το άτομο αυτό.[13] Με άλλα λόγια, ένα άτομο (χρωμόσωμα) αποτελείται από τόσα γονίδια, όσο είναι το πλήθος των bidders. Εάν για κάποιον bidder δεν επιλέγεται κάποια προσφορά, τότε το αντίστοιχο γονίδιο έχει την τιμή 0. Επομένως, οι επιτρεπτές τιμές για το κάθε γονίδιο είναι από 0, μέχρι το πλήθος των προσφορών που έχει καταθέσει ο αντίστοιχος bidder. Ένα παράδειγμα χρωμοσώματος εμφανίζεται πιο κάτω:

(0, 3, 2, 1, 1)

Το χρωμόσωμα αυτό υποδηλώνει ότι για τον 1ο bidder δεν επιλέγεται κάποια προσφορά, για τον 2ο bidder επιλέγεται η 3η προσφορά που έχει καταθέσει, για τον 3ο bidder η 2η προσφορά που έχει καταθέσει κ.ο.κ.

Θεωρούμε ότι ο δημοπράτης δεν μπορεί να αποδεχθεί μια προσφορά για την οποία το άθροισμα των τιμών του κάθε προϊόντος ξεχωριστά είναι μεγαλύτερο από την προσφορά που έχει κατατεθεί. Για παράδειγμα, για την 1η προσφορά που κατέθεσε ο 1ος bidder, όπως φαίνεται από τους πίνακες 1 και 2, τα προϊόντα της προσφοράς έχουν συνολική αξία ίση με

$$1 \times 100 + 1 \times 500 + 2 \times 100 + 1 \times 300 + 2 \times 450 = 2000$$

Η αξία αυτή είναι μεγαλύτερη από την αξία της προσφοράς που είναι ίση με 1800. Για το λόγο αυτό η προσφορά αυτή απορρίπτεται εξ' αρχής και δεν συμμετέχει στη διαδικασία που ακολουθεί για την επίλυση μέσω του Γενετικού Αλγορίθμου. Είναι δηλαδή σαν να μην έχει κατατεθεί ποτέ τέτοια προσφορά.

3.3.3 Καταλληλότητα των χρωμοσωμάτων

Για την εφαρμογή ενός Γενετικού Αλγορίθμου, θα πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη συνάρτηση καταλληλότητας.[13] Για κάθε ένα από τα χρωμοσώματα του πληθυσμού, επιλέγεται ως καταλληλότητα επιλέγεται το άθροισμα των αξιών των προσφορών που περιγράφει το χρωμόσωμα αυτό. Για παράδειγμα, για το άτομο (0, 3, 2, 1, 1) που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θεωρούμε ότι έχουμε καταλληλότητα ίση με

$$0 + 1600 + 1400 + 1200 + 2300 = 6500$$

αφού αυτό είναι το άθροισμα των αντίστοιχων προσφορών.

Κατά τη δημιουργία του αρχικού πληθυσμού ή μετά από την εφαρμογή των τελεστών της διασταύρωσης και της μετάλλαξης, είναι δυνατόν να προκύψουν μη αποδεκτά χρωμοσώματα. Αυτό συμβαίνει εάν το άθροισμα των ποσοτήτων για τα επιμέρους προϊόντα των προσφορών, υπερβαίνει τη διαθέσιμη ποσότητα για το

προϊόν αυτό. Για τις περιπτώσεις αυτές, επιλέχθηκε τα άτομα να εξακολουθούν να παραμένουν στον πληθυσμό, με μειωμένη όμως καταλληλότητα. Επιβάλλεται στις περιπτώσεις αυτές δηλαδή κάποια ποινή (penalty). Η ποινή αυτή μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε ανάλογη της υπέρβασης των περιορισμών. Δηλαδή, εάν για κάποιο χρωμόσωμα παραβιάζεται ελάχιστα κάποιος περιορισμός, τότε η ποινή μπορεί να είναι πολύ μικρή. Διαφορετικά, σε μεγάλη υπέρβαση των **περιορισμών ποσότητας** η ποινή θα είναι μεγαλύτερη. Το αποτέλεσμα είναι τα άτομα αυτά να έχουν μειωμένες πιθανότητες επιλογής και να απορριφθούν από τις επόμενες γενιές του αλγορίθμου.

3.3.4 Αρχικοποίηση του πληθυσμού

Για τη δημιουργία του αρχικού πληθυσμού που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια από τον Γενετικό Αλγόριθμο, χρησιμοποιείται η γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών που προσφέρει η Python. Δηλαδή, για τη δημιουργία ενός χρωμοσώματος, παράγονται με τυχαίο τρόπο ακέραιοι αριθμοί πλήθους ίσου με το πλήθος των bidders. Οι επιτρεπτές τιμές του κάθε τυχαίου αριθμού είναι από 0 μέχρι το πλήθος των προσφορών του κάθε bidder. Το πλήθος των χρωμοσωμάτων που παράγονται με τυχαίο τρόπο καθορίζεται μέσω της παραμέτρου pop_size, η οποία καθορίζεται στο πρόγραμμα, μαζί με τις υπόλοιπες παραμέτρους του αλγορίθμου (Εικόνα 7). Με τον τρόπο αυτό παράγεται ο συνολικός αρχικός πληθυσμός. Προφανώς κάθε φορά που εκτελείται το πρόγραμμα παράγεται και διαφορετικός αρχικός πληθυσμός, λόγω της στοχαστικής φύσης των Γενετικών Αλγορίθμων. Η παράμετρος pop_size, όπως και οι άλλες παράμετροι, μπορεί να τροποποιείται πριν από την εκτέλεση του προγράμματος, ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση του προβλήματος που κάθε φορά θέλουμε να επιλύσουμε. Για κάποιο μικρό πρόβλημα, όπως αυτό που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, η τιμή του pop_size μπορεί να είναι μικρή, ενώ για μεγαλύτερα προβλήματα μπορεί ο χρήστης να εισάγει κάποια μεγαλύτερη τιμή ή να κάνει δοκιμαστικές εκτελέσεις για διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους.[18][23]


```

def get_params():
    global Pc, Pm, pop_size, max_gen, filename
    # Pc: Πιθανότητα διασταύρωσης
    # Pm: Πιθανότητα μετάλλαξης
    # pop_size: Μέγεθος του πληθυσμού
    pop_size = 50
    Pc = 0.3
    Pm = 0.05
    max_gen = 100
    filename = "problem.txt"

```

Εικόνα 7: Παράμετροι του Προβλήματος

3.3.5 Ο τελεστής της επιλογής

Με τη διαδικασία της επιλογής, δημιουργείται ένας νέος προσωρινός πληθυσμός, επιλέγοντας με τυχαίο τρόπο άτομα (χρωμοσώματα) από τον τρέχοντα πληθυσμό. Η πιθανότητα επιλογής των ατόμων εξαρτάται από την καταλληλότητα του κάθε ατόμου. Ένα καταλληλότερο άτομο είναι αρκετά πιθανόν να επιλεγεί περισσότερες από μία φορές, ενώ αντίθετα ένα άτομο με μικρή τιμή καταλληλότητας είναι αρκετά πιθανόν να μην επιλεγεί καθόλου. Η διαδικασία που ακολουθείται για την επιλογή περιγράφεται πιο κάτω και είναι γνωστή ως διαδικασία της ρουλέτας.[13]

Κατά τη διαδικασία της επιλογής γίνεται χρήση τυχαίων αριθμών, που παράγονται μέσω των βιβλιοθηκών που προσφέρει η Python. Η πιθανότητα επιλογής p_i του ατόμου i του πληθυσμού, για $i=1,2,\dots, \text{pop_size}$, είναι ίση με

$$p_i = \frac{eval(i)}{F}$$

όπου

- $eval(i)$ είναι η καταλληλότητα του i ατόμου
- F η συνολική καταλληλότητα των ατόμων του πληθυσμού, δηλαδή είναι

$$F = \sum_{i=1}^{\text{pop_size}} eval(i)$$

Η συσσωρευμένη πιθανότητα q_i για το άτομο i του πληθυσμού, για $i=1,2,\dots, pop_size$, είναι

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j$$

Η διαδικασία της επιλογής περιλαμβάνει τα πιο κάτω βήματα:

1. Παίρνουμε τον επόμενο τυχαίο αριθμό r , ο οποίος επιλέγεται με ομοιόμορφο τρόπο στο διάστημα $(0,1)$.
2. Υπολογίζεται το άτομο k για το οποίο είναι $q_{k-1} < r \leq q_k$, δηλαδή το πρώτο άτομο του οποίου η συσσωρευμένη πιθανότητα ξεπερνάει το r (ή είναι ίσο). Το άτομο k έχει επιλεγεί και περνάει στο επόμενο στάδιο.
3. Τα βήματα 1 και 2 επαναλαμβάνονται pop_size φορές, έτσι ώστε ο νέος προσωρινός πληθυσμός μετά την εφαρμογή του τελεστή της επιλογής να αποτελείται από pop_size άτομα.

Το αναμενόμενο πλήθος αντιγράφων n_k του ατόμου k στον νέο αυτόν πληθυσμό είναι ίσο με

$$n_k = p_i * pop_size$$

Στον νέο πληθυσμό που προκύπτει μετά τη διαδικασία της επιλογής, εφαρμόζεται ο τελεστής της διασταύρωσης, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.[13]

3.3.6 Ο τελεστής της διασταύρωσης

Κατά τη διαδικασία της διασταύρωσης, επιλέγονται με τυχαίο τρόπο ποια άτομα θα συμμετέχουν στη διαδικασία αυτή. Όσα άτομα δεν συμμετέχουν, παραμένουν στον πληθυσμό ή, με άλλα λόγια, περνούν στην επόμενη φάση της μετάλλαξης. Όσα άτομα συμμετέχουν στη διασταύρωση, σχηματίζουν ζευγάρια και στα ζευγάρια αυτά εφαρμόζεται ο τελεστής της διασταύρωσης. Ως τύπος της διασταύρωσης, έχει επιλεγεί η διασταύρωση απλού σημείου, λόγω της απλότητάς του, αφού η μορφή κωδικοποίησης των ατόμων του πληθυσμού επιτρέπει κάτι τέτοιο.

Η επιλογή των ατόμων που συμμετέχουν στη διασταύρωση, γίνεται με τυχαίο τρόπο, όπως περιγράφεται πιο κάτω:[13]

1. Για κάθε άτομο του πληθυσμού παίρνουμε τον επόμενο τυχαίο αριθμό r με ομοιόμορφο τρόπο στο διάστημα $(0,1)$.
2. Αν είναι $r < P_c$, όπου P_c η πιθανότητα διασταύρωσης, τότε το άτομο θα συμμετέχει στη διαδικασία της διασταύρωσης, διαφορετικά, δεν θα συμμετέχει στη διασταύρωση και παραμένει στον πληθυσμό.

Η πιθανότητα διασταύρωσης P_c , είναι μία από τις παραμέτρους του αλγορίθμου η τιμή των οποίων μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη (Εικόνα 7). Αφού βρεθούν τα άτομα που συμμετέχουν στη διασταύρωση, τότε τα άτομα αυτά χωρίζονται σε ζευγάρια. Αν το πλήθος των ατόμων αυτών είναι περιττό, τότε αυθαίρετα το τελευταίο άτομο που επιλέγεται για τη διασταύρωση, παραμένει στον πληθυσμό, χωρίς δηλαδή να συμμετέχει στη υπόλοιπη διαδικασία.

Για την εφαρμογή του τελεστή διασταύρωσης μονού σημείου, θα πρέπει να επιλεγεί με τυχαίο τρόπο το σημείο διασταύρωσης. Αυτό γίνεται από το πρόγραμμα και πάλι με την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Για την περίπτωση του προβλήματος που παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.3.1, ένα για παράδειγμα έχουμε τη διασταύρωση των ατόμων:

(0, 3, 2, 1, 1)

(0, 2, 1, 1, 0)

στο σημείο διασταύρωσης 2, τότε προκύπτουν οι απόγονοι με τον τρόπο που περιγράφεται στην Εικόνα 8. Στον νέο πληθυσμό περνούν μόνο οι απόγονοι των 2 ατόμων που συμμετέχουν στη διασταύρωση και όχι τα άτομα αυτά.



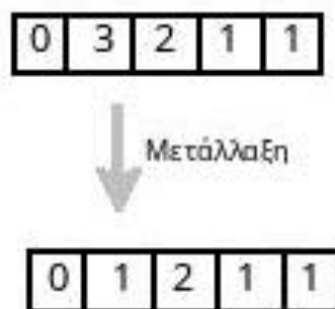
Εικόνα 8: Διασταύρωση απλού σημείου

Εάν η τιμή της πιθανότητας διασταύρωσης P_c , τεθεί ίση με 1, τότε όλα τα άτομα συμμετέχουν στη διασταύρωση και άρα όλα αντικαθίστανται από τα παιδιά τους. Αντίθετα, εάν τεθεί $P_c=0$, τότε δεν γίνεται καθόλου διασταύρωση και παραμένει ο ίδιος πληθυσμός.

Στον νέο πληθυσμό που προκύπτει μετά τη διαδικασία της διασταύρωσης, εφαρμόζεται ο τελεστής της μετάλλαξης, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.[18][13]

3.3.7 Ο τελεστής της μετάλλαξης

Κατά τη διαδικασία της μετάλλαξης, επιλέγονται με τυχαίο τρόπο κάποια από τα γονίδια των ατόμων του πληθυσμού και αλλάζουν, με τυχαίο και πάλι τρόπο, την τιμή τους. Στην περίπτωση του Γενετικού Αλγορίθμου των συνδυαστικών δημοπρασιών που περιγράφουμε, όταν ένα γονίδιο επιλεγεί για μετάλλαξη, η νέα τιμή του θα πρέπει να είναι μία από τις επιτρεπτές τιμές που μπορεί να έχουμε για το γονίδιο αυτό. Επομένως, θα πρέπει με τυχαίο τρόπο να επιλεγεί ένας ακέραιος αριθμός από το 0, μέχρι το πλήθος των προσφορών που έχει καταθέσει ο bidder που αντιστοιχεί στη θέση αυτή. Για παράδειγμα, κατά τη μετάλλαξη του ατόμου (0, 3, 2, 1, 1) στο δεύτερο γονίδιο, θα πρέπει να επιλεγεί με τυχαίο τρόπο ένας ακέραιος αριθμός από 0 ως 3, αφού ο δεύτερος bidder έχει καταθέσει 3 προσφορές. Μία πιθανή μετάλλαξη επομένως που θα μπορούσε να έχει γίνει, εμφανίζεται στην Εικόνα 9.[13]



Εικόνα 9: Τελεστής Μετάλλαξης

Για να αποφασίσει ο αλγόριθμος εάν ένα γονίδιο θα μεταλλαχθεί ή όχι, παράγει και πάλι με ομοιόμορφο τυχαίο τρόπο έναν αριθμό r στο διάστημα $(0,1)$ και συγκρίνει τον αριθμό αυτό με την πιθανότητα μετάλλαξης P_m . Η πιθανότητα μετάλλαξης P_m , είναι και αυτή μία από τις παραμέτρους του αλγορίθμου και η τιμή της μπορεί να καθοριστεί από τον χρήστη (Εικόνα 7). Στη συνέχεια, μετά την επιλογή του τυχαίου αριθμού r , εφαρμόζονται τα βήματα:

1. Εάν είναι $r < P_m$ τότε το γονίδιο μεταλλάσσεται
2. Διαφορετικά το γονίδιο δεν μεταλλάσσεται και παραμένει ως έχει.

Προφανώς, εάν τεθεί $P_m=1$ τότε όλα τα γονίδια μεταλλάσσονται, ενώ αν είναι $P_m=0$ τότε δεν έχουμε μετάλλαξη. Μία συνήθης πρακτική πάντως είναι η πιθανότητα μετάλλαξης να είναι αρκετά μικρή.

Μετά τη μετάλλαξη προκύπτει ο νέος πληθυσμός για την επόμενη γενιά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και πάλι από την αρχή, εφαρμόζοντας τους τελεστές επιλογής, διασταύρωσης και επιλογής, για πολλές γενιές, το πλήθος των οποίων καθορίζεται από τον χρήστη.

3.3.8 Εφαρμογή του αλγορίθμου

Για την εφαρμογή του Γενετικού Αλγορίθμου που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, θα πρέπει να καθοριστούν αρχικά οι επιθυμητές τιμές για τις παραμέτρους του αλγορίθμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Οι παράμετροι αυτές συμπεριλαμβάνουν:

- Το μέγεθος του πληθυσμού `pop_size`.
- Η πιθανότητα διασταύρωσης P_c .
- Η πιθανότητα μετάλλαξης P_m .
- Το πλήθος των γενεών `max_gen` που θα εφαρμοστεί ο αλγόριθμος.

Οι τιμές αυτές καθορίζονται από τον χρήστη πριν την εκτέλεση του αλγορίθμου, μαζί με το όνομα του αρχείου όπου υπάρχουν αποθηκευμένα τα δεδομένα εισόδου. Ο χρήστης μπορεί να πειραματιστεί δίνοντας διάφορες τιμές στις

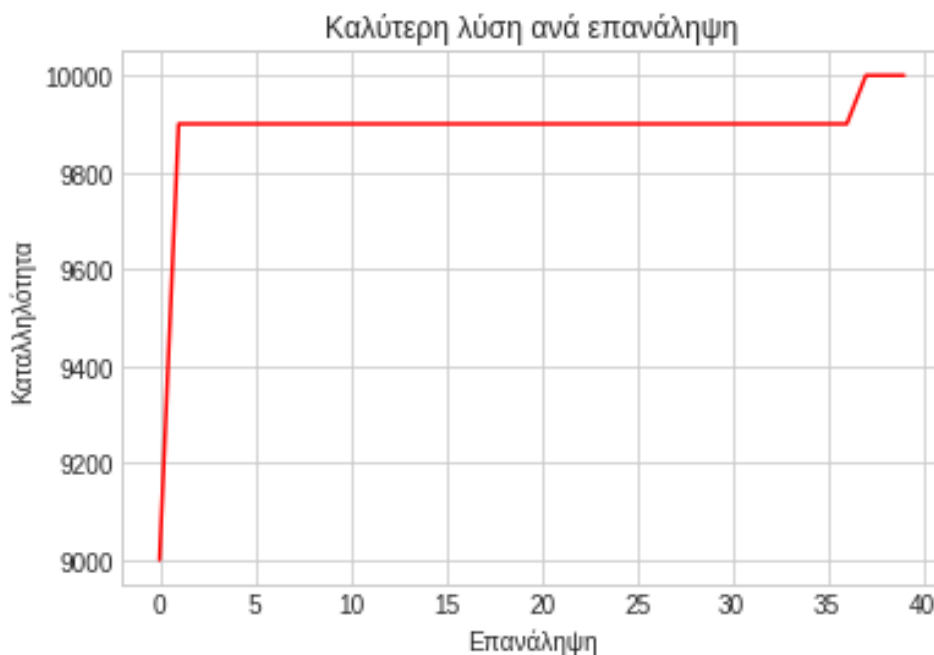
παραμέτρους αυτές, μέχρι να πάρει ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα για το πρόβλημα που θέλει να επιλύσει. Μετά την κάθε εκτέλεση του προγράμματος, εμφανίζεται στην έξοδο η καλύτερη λύση που έχει βρεθεί, μαζί με ένα γράφημα που δείχνει την καλύτερη λύση για την κάθε γενιά.

Για το πρόβλημα της παραγράφου 4.3.1, θεωρώντας τις παραμέτρους του πιο κάτω πίνακα:

pop_size	50
Pc	0,5
Pm	0,10
max_gen	40

εμφανίζεται η έξοδος που φαίνεται στην Εικόνα 10. Αυτό σημαίνει ότι η καλύτερη λύση που βρέθηκε για το πρόβλημα είναι η (0, 2, 1, 2, 2) με καταλληλότητα 10000. Αυτό σημαίνει ότι δεν θα επιλεγεί προσφορά από τον 1ο bidder, θα επιλεγεί η 2η προσφορά για τον 2ο bidder, η 1η προσφορά για τον 3ο bidder και η 2η προσφορά για τον 4ο και τον 5ο bidder. Στην περίπτωση αυτή το συνολικό ποσό που θα συγκεντρωθεί είναι 10000, το οποίο μάλιστα αποτελεί τη βέλτιστη λύση για το συγκεκριμένο πρόβλημα. Φυσικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αποτελέσματα διαφέρουν από εκτέλεση σε εκτέλεση, λόγω της φύσης των Γενετικών Αλγορίθμων, αφού η λειτουργία τους βασίζεται στην παραγωγή τυχαίων αριθμών.

 Καλύτερη λύση που βρέθηκε: [0, 2, 1, 2, 2]
 Καταλληλότητα: 10000



Εικόνα 10 Έξοδος Αλγορίθμου

Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου σε πρόβλημα με περισσότερα προϊόντα, τα δεδομένα του οποίου φαίνονται στην Εικόνα 11, παίρνουμε την έξοδο που εμφανίζεται στην Εικόνα 12. Η εκτέλεση του αλγορίθμου έγινε για τις τιμές των παραμέτρων που φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα:

pop_size	50
Pc	0,50
Pm	0,05
max_gen	100

Η καλύτερη λύση που βρέθηκε είναι η (1, 4, 1, 2, 0, 2, 2, 4, 3, 0) με καταλληλότητα 15400.

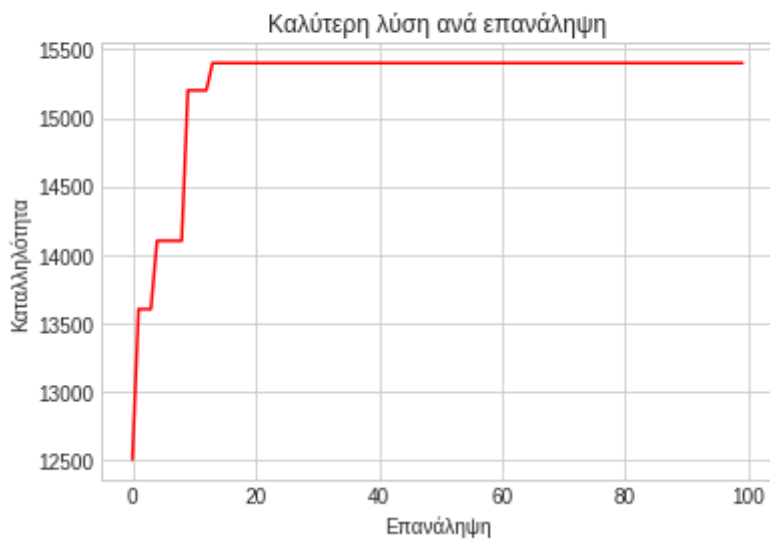
```

1 20
2 8 200
3 10 300
4 6 200
5 4 500
6 12 100
7 7 300
8 11 100
9 6 400
10 9 200
11 11 200
12 10 300
13 5 500
14 4 500
15 7 300
16 11 200
17 5 500
18 10 100
19 5 400
20 7 200
21 8 300
22 10
23 4
24 6
25 7 2 6 1 3 1 1 1 8 1 13 1
26 2000
27 4
28 2 1 12 1 4 1 19 1
29 1200
30 4
31 5 1 7 1 1 2 20 1
32 1400
33 6
34 2 1 15 2 7 2 3 1 8 1 16 1
35 1700

```

Εικόνα 11 Δεδομένα εισόδου για πρόβλημα 20 προϊόντων

Καλύτερη λύση που βρέθηκε: [1, 4, 1, 2, 0, 2, 2, 4, 3, 0]
Καταλληλότητα: 15400



Εικόνα 12 Αποτέλεσμα Εκτέλεσης Αλγορίθμου

4. Συμπεράσματα

Από τη σχεδίαση και την υλοποίηση του Γενετικού Αλγορίθμου για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικών δημοπρασιών, που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, προκύπτουν διάφορα χρήσιμα συμπεράσματα. Οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, λόγω του τρόπου λειτουργίας τους, μπορούν να εφαρμοστούν σε περιπτώσεις προβλημάτων όπου υπάρχουν πάρα πολλές παράμετροι και η εφαρμογή άλλων μη τυχαιοκρατικών αλγορίθμων, είναι δύσκολη ή αδύνατη.

Στην περίπτωση των συνδυαστικών δημοπρασιών, όταν υπάρχουν πολλά προϊόντα και πολλές προσφορές, δεν είναι καθόλου εύκολο να βρεθεί μία βέλτιστη λύση ή έστω μία λύση η οποία να βρίσκεται κοντά στη βέλτιστη. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή Γενετικών Αλγορίθμων ενδείκνυται για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικών δημοπρασιών. Η κωδικοποίηση των λύσεων είναι αρκετά απλή στην εφαρμογή της και το ίδιο ισχύει για τους τελεστές επιλογής, διασταύρωσης και μετάλλαξης. Ρυθμίζοντας με κατάλληλο τρόπο τις παραμέτρους του προβλήματος, μπορούμε να πάρουμε μία λύση η οποία μπορεί να είναι βέλτιστη ή έστω σε ικανοποιητικό βαθμό κοντά στη βέλτιστη. Με πειραματισμούς μάλιστα στις τιμές που παίρνουν οι παράμετροι, είναι δυνατόν να έχουμε πάρα πολύ καλά αποτελέσματα, ακόμη και σε πολύπλοκες περιπτώσεις συνδυαστικών δημοπρασιών με πάρα πολλά δεδομένα και περιορισμούς.

4.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Φυσικά η παρούσα εργασία επιδέχεται βελτιώσεων. Μια μελλοντική επέκταση και βελτίωση της ήδη υπάρχουσας έρευνας θα αποτελούσε η δημιουργία ορισμένων πειραμάτων. Η μορφή αυτών των πειραμάτων θα μπορούσε να είναι η εξής:

Αρχικά θα υλοποιούσαμε προβλήματα για διάφορες τιμές του πλήθους προϊόντων . Δηλαδή τα πειράματά μας θα περιείχαν προβλήματα με 10-15-20-25-30 προϊόντα. Στην συνέχεια θα θεωρούσαμε πως το πλήθος εναλλακτικών ανά αγοραστή είναι σταθερό όπως και οι ποσότητες για κάθε πλήθος προϊόντων και αξίες. Έπειτα θα έπρεπε να το δοκιμάζαμε για διάφορα πλήθη αγοραστών(π.χ. 10-12-14-16-18-20). Σε όλα αυτά βέβαια προστίθενται και άλλες μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη όπως η πιθανότητα μετάλλαξης και διασταύρωσης, το pop size κλπ. Επομένως η πολυπλοκότητα, εάν θεωρήσουμε πως πραγματοποιούμε το παραπάνω πείραμα για 5 τυχαία προβλήματα αυξάνεται σημαντικά. Από αυτά τα πειράματα θα υπολογίζαμε την μέση και μέγιστη ποιότητα λύσης όπως και το μέσο πλήθος γενιών. Στην συνέχεια θα κάναμε διαγράμματα όπως ακριβώς και στα 2 προβλήματα που έχω υλοποιήσει. Ως εναλλακτική βέβαια θα μπορούσαμε να τροποποιήσουμε το κριτήριο τερματισμού, ώστε να μην είναι το max gen αλλά οι 30 συνεχόμενες γενιές χωρίς βελτίωση.

Όλα τα παραπάνω θεωρώ πως είναι αρκετά ενδιαφέροντα και χρήζουν περαιτέρω μελέτης στο εγγύς μέλλον.

5. Παράρτημα

Ο κώδικας της εργασίας είναι ελεύθερος και διαθέσιμος στον παρακάτω σύνδεσμο:

https://drive.google.com/file/d/1-8G1geBtxz_sgBFg7CFO9hWZJGQPXvJE/view .

Για όποιον θέλει να χρησιμοποιήσει τον κώδικα να αναφέρουμε πως θα πρέπει να υπάρχει εγκατεστημένη στον υπολογιστή του η έκδοση python 3.x. Εάν κάποιος θέλει να προβεί σε αλλαγές ή να επεξεργαστεί τον ήδη υπάρχον κώδικα θα χρειαστεί να κατεβάσει και ένα **ολοκληρωμένο περιβάλλον προγραμματισμού (Integrated Development Environments – IDE)**. Η παραπάνω εργασία υλοποιήθηκε στο Spyder.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Cramton, P., Shoham, Y. and Steinberg, R., ‘ *Combinatorial Auctions*’, Boston: MIT Press.[1]

Shoham, Y., Leyton-Brown, K.,(2010) ‘ *MULTIAGENT SYSTEMS, Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*’, Boston: MIT Press.[2]

Parkes, David C. (2006) ‘ *Iterative combinatorial auctions*’. In *Combinatorial Auctions*, ed. P. Cramton, Y. Shoham, and R.Steinberg, 41-78. Cambridge, Mass: MIT Press.[3]

Boutilier, C., Hoos, H.(2001) ‘ *Bidding Languages for Combinatorial Auctions*’, Canada: University of Toronto, Department of Computer Science.[4]

Fujishima, Y., Leyton-Brown, K. and Shoham, Y.,(1999) ‘*Taming the computational complexity of combinatorial auctions: Optimal and approximate approaches*’. In *Proceedings of IJCAI’99*, Stockholm, Sweden.[5]

N. Nisan and A. Ronen. ‘*Computationally feasible VCG mechanisms*’. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 29:19–47, 2007.[6]

Cheema A., Chakravarti D., Sinha Atanu R.,(2012) ‘ *Bidding Behavior in Descending and Ascending Auctions* ’. Washington University of St. Lewis: Informs.[7]

Tennenholtz, M., Shoham, Y. and Leyton-Brown, K., (2000) *'An Algorithm for Multi- Unit Combinatorial Auctions'*. Stanford University, Stanford, CA 94305.[8]

Ausubel, Lawrence M. (1997), *"An Efficient Ascending-Bid Auction for Multiple Objects,"* University of Maryland Working Paper 97-06,.[9]

Lernet A., Gonen, R.,(2014) *'Characterizing the Incentive Compatible and Pareto Optimal Efficiency Space for Two Players, k Items, Public Budget and Quasilinear Utilities'*, The Open University of Israel, Israel.[10]

Goldberg David E.,(1989) *'Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning'*, The University of Alabama, USA.[11]

Lawrence M. Ausubel, Cramton P., Milgrom P.(2006) *'Ascending Auctions with Package Bidding '*, MIT Press. [12]

Γεωργόπουλος, Ε., Λυκοθανάσης, Σ., (1999) *'Εισαγωγή στους Γενετικούς Αλγορίθμους'*, Ελλάδα: Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής, Τομέας Εφαρμογών και Θεμελιώσεων της Επιστήμης των Υπολογιστών.[13]

Gonen,R., Lehmann,D.,(2000) *'Optimal solutions for multi-unit combinatorial auctions: Branch and bound heuristics'*. In *Second ACM Conference on Electronic Commerce (EC-00)*, pages 13-20, Minneapolis, Minnesota [14]

Lehmann, D., Shoham, Y.,(2002) *' Truth Revelation in Approximately Efficient Combinatorial Auctions '*, Israel: Hebrew University, Jerusalem 91904.[15]

Oliphant, T.(2007) *'Python for Scientific Computing. Computing in Science & Engineering'*. 9.10-20. 10.1109/MCSE.2007.58[16]

Petrakis I., Georg, Z., Martin, B., (2012) *'Ascending Combinatorial Auctions with Allocation Constraints: On Game-Theoretical and Computational Properties of Generic Pricing Rules'*. 00(0) , TU Munchen, Germany: Decision Sciences & Systems, Department of Informatics.[17]

Michalewicz, Z.(1992) *'Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs'*, USA: Springer.[18]

R. Holzman and D. Monderer, (2004) *'Characterization of ex post equilibrium in the VCG combinatorial auctions'*. In Games and Economic Behavior, 47:87–103.[20]

R. Holzman, N. Kfir-Dahav, D. Monderer, and M. Tennenholtz, (2004) *'Bundling Equilibrium in Combinatorial Auctions'*. In Games and Economic Behavior, 47:104–123. [21]

Krysta, P., Telelis, O., Ventre, C.,(2013) *'Mechanisms for Multi-Unit Combinatorial Auctions with a Few Distinct Goods'*, In: Proceedings of the 12th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AA-MAS 2013), **Ito, Jonker, Gini, and Shehory (eds.)**, Saint Paul, Minnesota, USA.[22]

Λυκοθανάσης, Σ.(2001) *' Γενετικοί Αλγόριθμοι και Εφαρμογές'*. Πάτρα, Ελλάδα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.[23]

Guttag, J. V. (2016) *'Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data'*. MIT Press. ISBN 978-0-262-52962-4.[24]

Millman, K. and Aivazis, M. (2011) *'Python for Scientists and Engineers. Computing in Science & Engineering'*. 13. 9 - 12. 10.1109/MCSE.2011.36.[25]

TIOBE (2018) *'TIOBE Index for August 2018 [Online]*'. Διαθέσιμο στο: <https://tiobe.com/tiobe-index/>. [Πρόσβαση 3 Αυγούστου 2018]. [26]

6.1 Διευθύνσεις Internet

<https://pdfs.semanticscholar.org/eb2a/e88f9e7423d86775ce529ba01a90981d1a8e.pdf> [e1]

https://www2.cs.duke.edu/courses/fall06/cps296.2/mech_des_chapter.pdf
[e2]

<http://www.cs.yale.edu/homes/ij/YS2.pdf> [e3]

<http://www.aaai.org/Papers/AAAI/2000/AAAI00-004.pdf>[e4]

<http://www.cs.ubc.ca/~kevinlb/papers/computation.pdf>[e5]

<https://people.cs.pitt.edu/~kirk/CS1699Fall2014/VCG-LOS.pdf> [e6]

<http://www.cs.cmu.edu/~.gilpin/papers/cabob.ijcai01.pdf>[e7]

<http://www.ifaamas.org/Proceedings/aamas2013/docs/p691.pdf>[e8]

https://eml.berkeley.edu/~mcfadden/eC103_f03/auctionlect.pdf [e9]

http://edu.eap.gr/pli/pli31/docs/GAs_introduction.pdf[e10]

<http://aibook.csd.auth.gr/include/slides/Chap07.pdf>[e11]

<https://econtheory.org/ojs/index.php/te/article/viewFile/20180831/20904/633> e[12]

http://www.sigecom.org/exchanges/volume_7/1/tennenholtz.pdf[e13]

<http://flask.pocoo.org/>[e14]

<https://www.udemy.com/complete-python-bootcamp> [e15]

<https://www.mathworks.com/help/gads/what-is-the-genetic-algorithm.html> [e16]

http://www.lib.unipi.gr/files/Bibliografikes_Piges/4.%20Harvard%20Style.pdf [e17]

<https://github.com/python> [e18]

<ftp://cramton.umd.edu/ca-book/ch12-muller-lehmann-sandholm-winner-determination-problem.pdf> e[19]